



**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN GEOTÉRMICA CON APOYO
FOTOVOLTAICO PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR**

**Design of a geothermal installation with photovoltaic support for a single-
family house**

Para acceder al título de:

Grado en Ingeniería de los Recursos Energéticos

Autor: Miguel Ceballos Torcida

Directora: Raquel Martínez Torre

Convocatoria: Noviembre 2024



AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Miguel e Isabel y a mi hermana Lucia, ya que sin ellos no podría haber conseguido nada de esto.

A mi familia y amigos, por haber estado a mi lado en este camino.

También quiero agradecerle a mi tutora Raquel y demás profesores por la cercanía y el trato recibido.

Gracias.



RESUMEN

En un mundo cada vez más consciente de la necesidad de cuidar el medio ambiente, se innova constantemente en formas de reducir las emisiones a la atmósfera. Distintos sectores entran en juego: transporte, generación de energía, industria... pero uno en el que tanto los gobiernos como las personas pueden aportar su granito de arena con una pequeña inversión es el autoabastecimiento eléctrico de los hogares. En este trabajo se pretende desarrollar esa idea realizando el dimensionamiento de una instalación geotérmica con apoyo fotovoltaico en una vivienda del Norte de España. Se considerará la legislación vigente y se estudiará el consumo energético de la vivienda para adaptar la instalación. A continuación, se realizarán los cálculos y se preparará un presupuesto, seguido de un estudio económico para evaluar su viabilidad.



DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN GEOTÉRMICA CON APOYO FOTVOLTAICO PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR



ABSTRACT

In a world increasingly aware of the need to protect the environment, innovation is constantly searching ways to reduce emissions into the atmosphere. Different sectors play a role in this, including transportation, energy generation, and industry. However, one area where both governments and individuals can contribute with a modest investment is household electrical self-sufficiency. This work aims to develop that idea by designing a geothermal system with photovoltaic support for a home in northern Spain. The project will consider current legislation and analyze the home's energy consumption to tailor the installation. Calculations will then be carried out, followed by a budget proposal and an economic feasibility study.



ÍNDICE

Contenido

ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE TABLAS	10
1. INTRODUCCIÓN	12
2. ALCANCE Y OBJETIVOS	13
3. ESTADO DEL ARTE.....	14
3.1 DOCUMENTO BÁSICO DE AHORRO DE ENERGÍA DEL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN EN ESPAÑA	14
3.1.1 Sección HE 0: Limitación del consumo energético.....	14
3.1.2 Sección HE 1: Condiciones para el control de la demanda energética 16	
3.1.3 Sección HE 2: Condiciones de las instalaciones térmicas.....	19
3.1.4 Sección HE 3: Condiciones de las instalaciones de iluminación	20
3.1.5 Sección HE 4: Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria	21
3.1.6 Sección HE 5: Generación mínima de energía eléctrica procedente de fuentes renovables	22
3.1.7 Sección HE 6: Dotaciones mínimas para la infraestructura de carga de vehículos eléctricos	22
3.2 PROGRAMAS DE CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA.....	23
3.2.1 Procedimientos generales.....	23
3.2.1.1 <i>LIDER – CALENER herramienta unificada HULC</i>	23
3.2.1.2 <i>SG SAVE</i>	24
3.2.1.3 <i>CYPETHERM HE PLUS</i>	25
3.2.1.4 <i>TEKTON 3D TK-CEEP</i>	25
3.2.2 Procedimientos simplificados	26
3.2.2.1 <i>CE3</i>	26
3.2.2.2 <i>CE3X</i>	26
3.2.2.3 <i>CERMA</i>	27
3.3 LA ENERGIA GEOTÉRMICA.....	27
3.3.1 Definición y principios básicos	27
3.3.2 Tipos de yacimientos geotérmicos	28
3.3.2.1 <i>Yacimientos de alta entalpía</i>	29



3.3.2.2	<i>Yacimientos de media entalpía</i>	30
3.3.2.3	<i>Yacimientos de baja entalpía</i>	31
3.3.2.4	<i>Yacimiento de muy baja entalpía</i>	32
3.3.3	Aplicaciones en viviendas	33
3.3.3.1	<i>District heating</i>	34
3.3.3.2	<i>Bomba de calor geotérmica (ghp)</i>	35
3.3.4	Tendencias actuales en viviendas.....	36
3.4	LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA.....	38
3.4.1	Definición y principios básicos	38
3.4.2	Funcionamiento de los paneles solares	39
3.4.3	Tipos de sistemas fotovoltaicos	40
3.4.3.1	<i>Sistema aislado de la red o autónomo</i>	40
3.4.3.2	<i>Sistema conectado a red</i>	40
3.4.3.3	<i>Sistema conectado a red con baterías de apoyo</i>	41
3.4.4	Tendencias actuales en viviendas.....	42
4.	METODOLOGÍA.....	43
4.1	Características de la vivienda	43
4.1.1	Distribución	43
4.1.2	Localización y orientación	45
4.1.3	Condiciones climáticas	46
4.1.4	Condiciones Geológicas	48
4.2	Análisis de Demanda Energética.....	49
4.3	Análisis de eficiencia energética mediante software	49
4.4	Dimensionamiento sistema geotérmico	50
4.4.1	Cargas Térmicas.....	50
4.4.1.1	<i>Condiciones exteriores de la vivienda</i>	50
4.4.1.2	<i>Condiciones interiores de la vivienda</i>	50
4.4.1.3	<i>Envoltente térmica</i>	51
4.4.1.4	<i>Cálculo de cargas térmicas</i>	53
4.4.2	Selección de equipo.....	55
4.4.2.1	<i>Sistema de captación</i>	55
4.4.2.2	<i>Suelo radiante</i>	57
4.4.2.3	<i>Bomba de calor</i>	58



4.5	Dimensionamiento del sistema fotovoltaico	59
4.5.1	Evaluación del recurso solar	59
4.5.1.1	<i>Datos climatológicos: irradiación en el emplazamiento</i>	59
4.5.1.2	<i>Estudio de sombras</i>	59
4.5.2	Selección de equipos.....	61
4.5.2.1	<i>Datos de partida</i>	61
4.5.2.2	<i>Módulos fotovoltaicos</i>	63
4.5.2.3	<i>Inversor</i>	63
4.5.2.4	<i>Cableado</i>	64
4.5.2.5	<i>Protecciones</i>	65
4.6	ANÁLISIS ECONÓMICO	66
4.6.1	Rentabilidad: VAN y TIR	66
5.	RESULTADOS	67
5.1	ANÁLISIS DE DEMANDA ENERGÉTICA	67
5.2	ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA MEDIANTE SOFTWARE	69
5.3	DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA GEOTÉRMICO	74
5.3.1	Cargas térmicas de calefacción	74
5.3.2	Selección de equipos.....	76
5.3.2.1	<i>Sistema de captación</i>	76
5.3.2.2	<i>Suelo radiante</i>	80
5.3.2.3	<i>Bomba de calor</i>	81
5.4	DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	82
5.4.1	Evaluación del recurso solar	82
5.4.1.1	<i>Datos climatológicos: irradiación en el emplazamiento</i>	82
5.4.1.2	<i>Estudio de sombras</i>	83
5.4.2	Selección de equipos.....	86
5.4.2.1	<i>Datos de partida</i>	86
5.4.2.2	<i>Módulos fotovoltaicos</i>	88
5.4.2.3	<i>Inversor</i>	90
5.4.2.4	<i>Cableado</i>	91
5.4.2.5	<i>Protecciones</i>	93
5.5	ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA POST INSTALACIÓN	94
5.6	ANÁLISIS ECONÓMICO	95
5.6.1	Presupuesto instalación geotermia	95



DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN GEOTÉRMICA CON APOYO FOTVOLTAICO PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR



5.6.2	Presupuesto instalación fotovoltaica	96
5.6.3	Rentabilidad: VAN Y TIR	96
6.	CONCLUSIONES	99
7.	BIBLIOGRAFÍA	100



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1:HULC, herramienta unificada (Fuente: Miteco)	23
Figura 3.2: SG SAVE (Fuente: Miteco).....	24
Figura 3.3: CYPETHERM HE PLUS (Fuente: Miteco).....	25
Figura 3.4:TEKTON 3D TK-CEEP (Fuente: Miteco).....	25
Figura 3.5: CE3 (Fuente:Miteco).....	26
Figura 3.6:CE3X (Fuente: Certicalia)	26
Figura 3.7:CERMA (Fuente: Miteco)	27
Figura 3.8: Gradiente geotérmico (Fuente: ICGC)	28
Figura 3.9:Aprovechamiento fluido alta temperatura (Fuente:Unioviedo).....	29
Figura 3.10: Aprovechamiento mediante ciclo binario e intercambiador de calor (Fuente: Unioviedo)	30
Figura 3.11: Aprovechamiento geotérmico baja temperatura (Fuente: Unioviedo)	31
Figura 3.12: Sistema geotérmico de muy baja temperatura (Fuente: Unioviedo)	32
Figura 3.13: Variación de la temperatura del terreno (Fuente: Asamblea del medio ambiente).....	33
Figura 3.14: Mieres district heating (Fuente: Grupo Hunosa).....	34
Figura 3.15: BCG modo calefacción (Fuente: Geotermia vertical).....	35
Figura 3.16: BCG modo refrigeración (Fuente: Geotermia vertical).....	36
Figura 3.17: Perfiles de temperatura para distintos sistemas de calefacción (Fuente: Neytesa).....	37
Figura 3.18: Photovoltaic Electricity Potential (Fuente: SOLARGIS)	38
Figura 3.19: Funcionamiento de una célula fotovoltaica (Fuente: Enciclopedia de energía)	39
Figura 3.20: Sistema fotovoltaico aislado (Fuente: Sotysolar).....	40
Figura 3.21: Sistema fotovoltaico conectado a red (Fuente: Autosolar).....	41
Figura 3.22: Sistema fotovoltaico conectado a red con baterías (Fuente: Saclima)	42
Figura 4.1: Distribución planta baja (Fuente: Solux).....	44
Figura 4.2: Distribución primera planta (Fuente: Solux)	45
Figura 4.3: Orientación de las fachadas (Fuente: Fomento 2013).....	46
Figura 4.4: Corte geológico de la localidad de Quevedo (Fuente: Mapas de Cantabria)	48
Figura 4.5: Sistema de captación verticales y horizontales (Fuente: Atlántico perforaciones).....	56
Figura 4.6: Circuito suelo radiante en espiral (Fuente: Leroy Merlin)	58
Figura 4.7: Irradiancia solar media en España (Fuente: AEMET).....	59
Figura 4.8: Esquema para el calculo de la distancia mínima entre filas de módulos (Fuente: CCEEA).....	60
Figura 5.1: Primera ventana emergente (Fuente:CE3X)	69
Figura 5.2: Datos generales y definición del edificio (Fuente: CE3X).....	69
Figura 5.3: Envoltente térmica cubierta (Fuente: CE3X)	70



Figura 5.4: Envoltente térmica muro SO (Fuente: CE3X).....	71
Figura 5.5: Envoltente térmica suelo (Fuente: CE3X).....	72
Figura 5.6: Envoltente térmica ventana (Fuente: CE3X)	72
Figura 5.7: Instalaciones del edificio (Fuente: CE3X).....	73
Figura 5.8: Calificación obtenida (Fuente: CE3X)	73
Figura 5.9: Cargas térmicas de calefacción (Fuente: ATECYR)	76
Figura 5.10: Sonda vertical geotermia PE-100 DOBLE (Fuente: Ferroterm, s.f.)	76
Figura 5.11: Extracción vertical térmica de calor (Fuente: Ferroterm, s.f.).....	77
Figura 5.12: Estructura SUNFER REGULABLE (Fuente: Mundosolar)	85
Figura 5.13: Diseño de los paneles realizado en EasySolar.com	85
Figura 5.14: Inversor Fronius Primo (Fuente:Fronius).....	90
Figura 5.15: Instalaciones del edificio (Fuente: CE3X).....	94
Figura 5.16: Calificación obtenida (Fuente: CE3X)	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Valor límite $C_{ep,nren,lim}$ [kWh/m^2 año] para uso residencial privado	14
Tabla 3.2: Valor límite $C_{ep,nren,lim}$ [kWh/m^2 año] para uso distinto a residencial privado.....	15
Tabla 3.3: Valor límite $C_{ep,tot,lim}$ [kWh/m^2 año] para uso residencial privado	15
Tabla 3.4: Valor límite $C_{ep,tot,lim}$ [kWh/m^2 año] para uso distinto a residencial privado	15
Tabla 3.5: Valores límite de transmitancia térmica, U_{lim} [W/m^2K]	17
Tabla 3.6: Valor límite K_{lim} [W/m^2K] para uso residencial privado	17
Tabla 3.7: Valor límite K_{lim} [W/m^2K] para uso distinto del residencial privado	18
Tabla 3.8: Valor límite del parámetro de control solar $Q_{sol,jul,lim}$ [kWh/m^2 mes]	18
Tabla 3.9: Valor límite de eficiencia energética de la instalación (VEE_{lim})	20
Tabla 3.10: Potencia máxima por superficie iluminada ($P_{tot,lim}/S_{tot}$)	21
Tabla 3.11: Tipos de yacimientos geotérmicos (Fuente: Ovacen).....	29

Tabla 4.1: Superficie de las estancias.	43
Tabla 4.2: Datos históricos del tiempo Santillana del Mar (1991-2021)	46
Tabla 4.3: Zonas climatológicas de la Península Ibérica.	47
Tabla 4.4: Valores de conductividad y capacidad térmica para distintos materiales	48
Tabla 4.5: Condiciones interiores de la vivienda.....	50
Tabla 4.6: Composición muro exterior	51
Tabla 4.7: Composición de la cubierta	52
Tabla 4.8: Composición del suelo	53
Tabla 4.9: Intensidades admisibles para conductores de cobre, no enterrados y temperatura ambiente 40°.....	64



Tabla 5.13: Características del Inversor	90
Tabla 5.14: Conductividad de cables eléctricos según el material.....	91
Tabla 5.15: Intensidades admisibles para conductores de cobre, no enterrados y temperatura ambiente 40°.....	92
Tabla 5.16: Presupuesto instalación geotérmica	95
Tabla 5.17: Presupuesto instalación fotovoltaica.....	96
Tabla 5.18: Balance económico de la instalación en el que se calcula el VAN y la TIR.	97



1. INTRODUCCIÓN

En el contexto energético de las últimas décadas, el aumento en el consumo de combustibles fósiles ha llevado a un aumento exponencial de la contaminación, lo que ha generado una creciente preocupación en la sociedad por el cambio climático y cómo combatirlo. En esta situación surgen las energías renovables, las cuales son fundamentales para contrarrestar los impactos del cambio climático y fomentar un futuro más sostenible. Para promover el uso de estas energías en los hogares españoles se ha intentado adaptar la normativa del Código Técnico de la Edificación (CTE), incluyendo el documento básico de ahorro de energía (DB-HE) que marca los requisitos mínimos de eficiencia energética para nuevas construcciones o grandes reformas. Dentro de este documento se incluye el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), el cual establece las normas en España para el diseño, instalación y mantenimiento de sistemas de climatización y agua caliente, así como los requisitos de eficiencia energética y seguridad que deben cumplir dichas instalaciones térmicas.



2. ALCANCE Y OBJETIVOS

Este trabajo tiene como finalidad realizar el dimensionamiento de una instalación de autoabastecimiento energético mediante energía geotérmica y solar para una vivienda unifamiliar. Se tendrán en cuenta detalles como las facetas técnicas, ambientales y económicas con el objetivo de aproximarse al máximo a un proyecto real.

Los objetivos son los siguientes:

- **Normativa:** Conocer la normativa técnica que afecta a este tipo de instalaciones.
- **Tecnología actual:** Conocer las últimas tecnologías en el sector, así como las más utilizadas.
- **Diseño:** Conocer las herramientas y los pasos a seguir en el dimensionamiento tanto del sistema geotérmico como del sistema fotovoltaico.
- **Análisis de eficiencia energética:** Efectuar el correspondiente análisis de eficiencia del proyecto, así como conocer los distintos programas existentes para ello.
- **Análisis económico:** Evaluar la viabilidad económica del proyecto, considerando costos directos e indirectos y realizar un análisis aproximado de recuperación de la inversión.



3. ESTADO DEL ARTE

A continuación, se va a desarrollar la normativa que afecta al caso de estudio, así como la posible utilización de los principales softwares que existen para incluir el análisis de la eficiencia energética y por último, el contenido teórico relativo a las opciones existentes de geotermia y de solar fotovoltaica para una vivienda.

3.1 DOCUMENTO BÁSICO DE AHORRO DE ENERGÍA DEL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN EN ESPAÑA

La función principal de este Documento Básico (DB) es establecer normas y procesos que permitan cumplir el requisito básico de ahorro de energía. Las secciones de este Documento básico coinciden con las exigencias básicas HE 0 a HE 6 y aplicar correctamente cada sección asegura el cumplimiento de la exigencia básica correspondiente. Aplicar correctamente el Documento básico implica cumplir con el requisito básico "Ahorro de energía". [1]

Las secciones son las siguientes:

3.1.1 Sección HE 0: Limitación del consumo energético

- a) **Aplicación:** Esta sección, que aplica tanto a edificios de nueva construcción como a reformas en edificios existentes (excluyendo los menores de 50m², patrimonio histórico y/o aquellos que no requieran temperatura de confort),. Reducirá la energía consumida según la región climática de invierno, la función del edificio y en el caso de edificios ya existentes, el alcance de la intervención.
- b) **Cuantificación:**
El consumo de **energía primaria no renovable** ($C_{ep,nren}$) de los espacios dentro de la envolvente térmica del edificio o de la parte del edificio que se considere, no podrá superar el valor límite ($C_{ep,nren,lim}$) obtenido en la siguiente tabla:

Tabla 3.1: Valor límite $C_{ep,nren,lim}$ [kWh/m² año] para uso residencial privado

	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones	20	25	28	32	38	43
Cambios de uso a residencial privado y reformas	40	50	55	65	70	80

En territorio extrapeninsular (Illes Balears, Canarias, Ceuta y Melilla) se multiplicarán los valores de la tabla por 1,25



Tabla 3.2: Valor límite $C_{ep,nren,lim}$ [kWh/m^2 año] para uso distinto a residencial privado

Zona climática de invierno					
α	A	B	C	D	E
$70 + 8 \cdot C_{FI}$	$55 + 8 \cdot C_{FI}$	$50 + 8 \cdot C_{FI}$	$35 + 8 \cdot C_{FI}$	$20 + 8 \cdot C_{FI}$	$10 + 8 \cdot C_{FI}$

C_{FI} : Carga interna media [W/m^2]

En territorio extrapeninsular (Illes Balears, Canarias, Ceuta y Melilla) se multiplicarán los valores resultantes por 1,40

El consumo de **energía primaria total** ($C_{ep,tot}$) de los espacios dentro de la envolvente térmica del edificio o de la parte específica del edificio, no excederá el límite ($C_{ep,tot,lim}$) obtenido de la tabla:

Tabla 3.3: Valor límite $C_{ep,tot,lim}$ [kWh/m^2 año] para uso residencial privado

	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones	40	50	56	64	76	86
Cambios de uso a residencial privado y reformas	55	75	80	90	105	115

En territorio extrapeninsular (Illes Balears, Canarias, Ceuta y Melilla) se multiplicarán los valores de la tabla por 1,15

Tabla 3.4: Valor límite $C_{ep,tot,lim}$ [kWh/m^2 año] para uso distinto a residencial privado

Zona climática de invierno					
α	A	B	C	D	E
$165 + 9 \cdot C_{FI}$	$155 + 9 \cdot C_{FI}$	$150 + 9 \cdot C_{FI}$	$140 + 9 \cdot C_{FI}$	$130 + 9 \cdot C_{FI}$	$120 + 9 \cdot C_{FI}$

C_{FI} : Carga interna media [W/m^2]

En territorio extrapeninsular (Illes Balears, Canarias, Ceuta y Melilla) se multiplicarán los valores resultantes por 1,40



c) Procedimiento y datos para la determinación del consumo energético:

El procedimiento de cálculo debe determinar la eficiencia energética, entendida esta como consumo de energía primaria no renovable ($C_{ep,nren}$), y el consumo de energía primaria total ($C_{ep,tot}$) para mantener el edificio operativo durante un año, cumpliendo con las normas establecidas.

Además, el proceso de cálculo debe posibilitar la separación del uso de energía final según el tipo de energía empleada (combustible o electricidad) para cubrir las demandas energéticas de los diversos servicios (calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria, ventilación, control de humedad e iluminación).

Para ello, se podrá simular un modelo térmico del edificio o métodos simplificados equivalentes tomando en cuenta aspectos como: el diseño, localización y orientación del edificio, la envolvente térmica, ganancias, pérdidas y cualquier otro factor que afecte el consumo.

3.1.2 Sección HE 1: Condiciones para el control de la demanda energética

- a) **Aplicación:** Los edificios contarán con una *envolvente térmica* diseñada para reducir la cantidad de energía primaria requerida para lograr un nivel de confort térmico óptimo. La envolvente se adecuará al clima, propósito y modificaciones previstas en el edificio, según la zona donde esté ubicado.

Los componentes de la envolvente térmica serán adaptados a las condiciones climáticas particulares para prevenir cambios en la calidad térmica de los espacios habitables. Asimismo, las características de las paredes internas disminuirán el intercambio de calor entre las áreas de actividad y las zonas comunes del edificio.

Se tomarán medidas para intentar reducir los riesgos asociados a procesos que puedan afectar en el rendimiento térmico o la durabilidad de los elementos de la envolvente, como por ejemplo las condensaciones.

- b) **Envolvente térmica:** La envolvente térmica de un edificio se encarga de separar y aislar todos los espacios interiores del exterior. Está formada por los cerramientos, tanto horizontales como verticales, los huecos y los puentes térmicos del edificio. El ambiente exterior abarca no solamente el aire externo, sino también el suelo y cualquier otra edificación cercana. [2]



La transmitancia global se refiere a la totalidad del edificio, pero se calcula a partir de los valores de las transmitancias térmicas límite de cada componente (U_{lim}).

Tabla 3.5: Valores límite de transmitancia térmica, $U_{lim}[W/m^2K]$

Elemento	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Muros y suelos en contacto con el aire exterior (U_s, U_M)	0,80	0,70	0,56	0,49	0,41	0,37
Cubiertas en contacto con el aire exterior (U_C)	0,55	0,50	0,44	0,40	0,35	0,33
Muros, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables o con el terreno (U_T) Medianerías o particiones interiores pertenecientes a la envolvente térmica (U_{MD})	0,90	0,80	0,75	0,70	0,65	0,59
Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana) (U_H)*	3,2	2,7	2,3	2,1	1,8	1,80
Puertas con superficie semitransparente igual o inferior al 50%	5,7					

*Los huecos con uso de escaparate en unidades de uso con actividad comercial pueden incrementar el valor de U_H en un 50%.

El coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K) para edificios de uso residencial privado no superará el valor límite (K_{lim}) resultado de la siguiente tabla:

Tabla 3.6: Valor límite $K_{lim} [W/m^2K]$ para uso residencial privado

	Compacidad $V/A [m^3/m^2]$	Zona climática de invierno					
		α	A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones	$V/A \leq 1$	0,67	0,60	0,58	0,53	0,48	0,43
	$V/A \geq 4$	0,86	0,80	0,77	0,72	0,67	0,62
Cambios de uso. Reformas en las que se renueve más del 25% de la superficie total de la envolvente térmica final del edificio	$V/A \leq 1$	1,00	0,87	0,83	0,73	0,63	0,54
	$V/A \geq 4$	1,07	0,94	0,90	0,81	0,70	0,62

Los valores límite de las compacidades intermedias ($1 < V/A < 4$) se obtienen por interpolación.

En el caso de ampliaciones los valores límite se aplicarán sólo en caso de que la superficie o el volumen construido se incrementen más del 10%.



Asimismo, con uso distinto a residencial privado, no superará el valor límite (*Klim*) resultado de la siguiente tabla:

Tabla 3.7: Valor límite *Klim* [W/m^2K] para uso distinto del residencial privado

	Compacidad V/A [m^3/m^2]	Zona climática de invierno					
		α	A	B	C	D	E
Edificios nuevos. Ampliaciones. Cambios de uso. Reformas en las que se renueve más del 25% de la superficie total de la envolvente térmica final del edificio	$V/A \leq 1$	0,96	0,81	0,76	0,65	0,54	0,43
	$V/A \geq 4$	1,12	0,98	0,92	0,82	0,70	0,59

Los valores límite de las *compacidades* intermedias ($1 < V/A < 4$) se obtienen por interpolación.

En el caso de ampliaciones los valores límite se aplicarán sólo en caso de que la superficie o el volumen construido se incrementen más del 10%.

Las *unidades de uso* con actividad comercial cuya *compacidad* V/A sea mayor que 5 se eximen del cumplimiento de los valores de esta tabla.

También cabe mencionar el parámetro de control solar, que se entiende como la cantidad de radiación solar directa que puede ingresar a través de las ventanas o tragaluces de un edificio durante el mes de julio con las protecciones solares móviles activadas.

El propósito de este parámetro es disminuir la entrada de calor no deseado al edificio por la radiación solar, lo cual podría aumentar la necesidad de refrigeración y, por ende, el gasto de energía.

Este parámetro se regirá según la siguiente tabla:

Tabla 3.8: Valor límite del parámetro de control solar $Q_{sol:jul,lim}$ [kWh/m^2 mes]

Uso	$Q_{sol:jul}$
Residencial privado	2,00
Otros usos	4,00

La permeabilidad, referida a la envolvente térmica, es la cantidad de aire que atraviesa las superficies cerradas cuando hay una diferencia de presión entre el interior y el exterior. Este requisito exige que las soluciones constructivas y los elementos de la envolvente térmica aseguren una correcta hermeticidad al aire.

Para lograrlo, se debe prestar especial atención a las uniones entre aberturas y superficies sólidas, a los puntos de penetración a través de la envolvente (como pasos de instalaciones o puertas), así como a las puertas que conectan con espacios no climatizados.



- c) **Justificación de la exigencia:** Para justificar que un edificio cumple las exigencias de esta sección, los documentos de proyecto incluirán la siguiente información sobre el edificio a evaluar:
- Localidad y zona climática de ubicación.
 - La compacidad (V/A) del edificio o parte del edificio.
 - El plano de definición de la envolvente térmica.
 - La caracterización de los elementos que forman la envolvente térmica (cerramientos opacos, huecos y puentes térmicos).
 - Comprobar si se cumple la exigencia de limitación de condensaciones.

3.1.3 Sección HE 2: Condiciones de las instalaciones térmicas

El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) fija los requisitos de eficiencia energética y seguridad que deben cumplir las instalaciones térmicas en los edificios para garantizar el bienestar y la higiene de las personas. También establece los métodos para demostrar su cumplimiento.

Este reglamento, publicado en el BOE y perteneciente al Real Decreto 1027/2007 con última actualización el 02/08/2022, considera instalaciones térmicas las instalaciones fijas de climatización (calefacción, refrigeración y ventilación) destinadas a satisfacer las necesidades de confort térmico e higiene, así como para la producción de agua caliente sanitaria (ACS), incluyendo conexiones a redes urbanas y sistemas de control y automatización. Será implementado en los nuevos edificios y en las reformas de los edificios ya existentes para sistemas de calefacción.

Las instalaciones térmicas a las que se debe aplicar el RITE son:

- Cuando la potencia térmica nominal de la instalación sea mayor de 70kW, se realizará un proyecto.
- Cuando la potencia térmica nominal de la instalación sea mayor o igual que 5 kW y menor o igual que 70 kW, se realizará una memoria técnica.
- No se necesita documentación en las instalaciones de potencia térmica nominal instalada menor de 5 kW, las instalaciones de ACS por medio de calentadores, acumuladores o termos eléctricos cuando la potencia térmica nominal de cada uno por separado o su suma sea menor o igual que 70 kW.



3.1.4 Sección HE 3: Condiciones de las instalaciones de iluminación

- a) **Aplicación:** Los edificios contarán con sistemas de iluminación adaptados a las necesidades de los usuarios y que al mismo tiempo sean eficientes energéticamente. Estos incluirán un sistema de control de encendido según uso, así como un sistema de regulación que ayude a provechar la luz natural.
- b) **Cuantificación:** La eficiencia energética de la instalación de iluminación no superará el valor límite establecido en esta tabla:

Tabla 3.9: Valor límite de eficiencia energética de la instalación (VEE_{lim})

Uso del recinto	VEEI límite
Administrativo en general	3,0
Andenes de estaciones de transporte	3,0
Pabellones de exposición o ferias	3,0
Salas de diagnóstico ⁽¹⁾	3,5
Aulas y laboratorios ⁽²⁾	3,5
Habitaciones de hospital ⁽³⁾	4,0
Recintos interiores no descritos en este listado	4,0
Zonas comunes ⁽⁴⁾	4,0
Almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	4,0
Aparcamientos	4,0
Espacios deportivos ⁽⁵⁾	4,0
Estaciones de transporte ⁽⁶⁾	5,0
Supermercados, hipermercados y grandes almacenes	5,0
Bibliotecas, museos y galerías de arte	5,0
Zonas comunes en edificios no residenciales	6,0
Centros comerciales (excluidas tiendas) ⁽⁷⁾	6,0
Hostelería y restauración ⁽⁸⁾	8,0
Religioso en general	8,0
Salones de actos, auditorios y salas de usos múltiples y convenciones, salas de ocio o espectáculo, salas de reuniones y salas de conferencias ⁽⁹⁾	8,0
Tiendas y pequeño comercio ⁽¹⁰⁾	8,0
Habitaciones de hoteles, hostales, etc.	10,0
Locales con nivel de iluminación superior a 600lux	2,5



Además, la potencia total instalada de lámparas y equipos auxiliares por superficie iluminada (P_{total} / S_{total}) no superará el valor máximo establecido en la tabla:

Tabla 3.10: Potencia máxima por superficie iluminada ($P_{tot,lim}/S_{tot}$)

Uso	E Iluminancia media en el plano horizontal (lux)	Potencia máxima a instalar (W/m ²)
Aparcamiento		5
Otros usos	≤ 600	10
	> 600	25

Es importante destacar que las luminarias deberán tener sistemas de control y regulación, y se deben instalar sistemas que aprovechen la luz natural y que además regulen automáticamente el nivel de iluminación de las luminarias a menos de 5 metros de las ventanas o bajo lucernarios.

3.1.5 Sección HE 4: Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria

- a) **Aplicación:** Los edificios tendrán que cubrir el suministro de agua caliente sanitaria (ACS) y climatización para piscinas cubiertas utilizando en gran parte energía proveniente de fuentes renovables o de procesos de cogeneración renovable, tanto como generada en el propio edificio como la conexión a un sistema de calefacción urbana. Esta medida es aplicable a nuevos edificios y a reformas con una demanda de ACS de más de 100l/d.
- b) **Cuantificación:** La contribución renovable mínima para ACS y/o climatización de piscina debe ser:
- Se busca que al menos el 70% de la energía requerida para ACS y climatización de piscinas provenga de fuentes renovables, teniendo en cuenta las pérdidas de calor. Si la demanda de ACS es inferior a 5000 litros al día, el porcentaje puede disminuir al 60%.
 - En edificios existentes, esta contribución solo se aplica al aumento del consumo respecto al consumo inicial, es decir, a la diferencia.
 - Las fuentes de energía renovable pueden estar integradas en la producción de calor del edificio o disponibles a través de una red de calefacción urbana.
 - Las bombas de calor utilizadas para la producción de ACS deben tener un rendimiento eléctrico igual o superior a 2,5 o un rendimiento térmico del 1,15 para ser aporte de energía renovable.



- El aporte de energía renovable para ACS y climatización de piscinas puede ser sustituida en parte por energía residual de equipos de refrigeración, deshumidificadores y calor residual de bombas de calor térmicas, siempre que dicha energía residual sea útil. Solo se tendrá en cuenta si esta energía viene de recuperadores de calor fuera de la propia instalación del edificio.

3.1.6 Sección HE 5: Generación mínima de energía eléctrica procedente de fuentes renovables

- a) **Aplicación:** Los edificios de nueva construcción o reformados de más de 1000m² contarán con sistemas de generación de energía eléctrica proveniente de fuentes renovables, ya sea para su consumo interno o para verter a la red eléctrica.
- b) **Cuantificación:** La potencia mínima a ser instalada (P_{min}), será aquella que resulte menor entre las dos expresiones siguientes:

$$p_1 = Fpr * el * S$$
$$p_2 = 0,1 * (0,5 * SC - SOC) p_1$$

Donde:

P_{min} : potencia a instalar [kW]

Fpr : factor de producción eléctrica, toma valor de 0,005 para uso residencial y 0,01 para el resto de usos [kW/m²]

S : superficie construida del edificio [m²]

SC : superficie de cubierta no accesible únicamente para conservación

SOC : superficie de cubierta no accesible únicamente para conservación ocupada por captadores solares térmicos [m²]

*Solo se excluirán los edificios protegidos oficialmente.

3.1.7 Sección HE 6: Dotaciones mínimas para la infraestructura de carga de vehículos eléctricos

Los edificios contarán con una infraestructura de recarga de vehículos eléctricos. Esta infraestructura debe cumplir con lo establecido en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión vigente y su Instrucción Técnica Complementaria (ITC) BT 52, "Instalaciones con fines especiales".



3.2 PROGRAMAS DE CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA

La certificación energética es requerida desde 2007 para edificios nuevos y desde 2013 se aplica también a los edificios existentes. A partir de entonces, se han desarrollado múltiples programas oficiales con el fin de obtener esa certificación, lo que facilita a ingenieros y arquitectos elegir el software que mejor se ajuste

Este certificado proporciona información sobre el consumo de energía de un edificio y su impacto ambiental además de ayudar a los consumidores a tomar decisiones sobre la eficiencia energética de una propiedad.

Para obtener el certificado de eficiencia energética se requiere de un técnico certificado que realice la evaluación energética y emita el certificado correspondiente. Hará uso de los programas informáticos disponibles, los cuales pueden dividirse en dos grupos según el procedimiento que utilizan:

- Procedimientos generales: emplea un interfaz gráfico para diseñar el edificio y poder especificar las características de los cerramientos. También será necesario describir a fondo las instalaciones, tanto los equipos de producción como las unidades terminales.
- Procedimientos simplificados: el usuario solo debe indicar: orientación, superficie de los cerramientos y definición básica de las instalaciones. [3]

Los programas utilizados principalmente son:

3.2.1 Procedimientos generales

3.2.1.1 LIDER – CALENER herramienta unificada HULC



Figura 3.1: HULC, herramienta unificada (Fuente: Miteco)



Partiendo de dos programas son los muy utilizados para la certificación energética de edificios nuevos o en proceso de construcción como son Líder y Calener nace HULC. Por un lado, Líder que se utiliza para la evaluación energética del edificio y por otro Calener que se utiliza para la simulación energética y la comprobación del cumplimiento del Código Técnico de la Edificación (CTE).

Se puede usar en edificios de cualquier uso ya sea residencial privado, pequeño y mediano terciario o gran terciario, teniendo que exportar al programa Calener GT en este último caso.

La herramienta unificada HULC unifica la evaluación de distintos aspectos de la eficiencia energética del edificio, como la envolvente térmica, la ventilación, la iluminación y los sistemas de climatización. También, HULC posibilita la transferencia de los resultados de la evaluación energética en formato XML para poder utilizarlos en otros programas, como CE3X, para emitir certificados energéticos.[4]

3.2.1.2 SG SAVE



Figura 3.2: SG SAVE (Fuente: Miteco)

SG save es una herramienta reconocida para validar la eficiencia energética de los edificios además de permitir la verificación del DB HE0 y DB HE1 del Código Técnico de la Edificación. Esta aplicación posibilita la creación de un modelo del edificio con SketchUp, que es un programa de diseño gráfico y modelado en tres dimensiones basado en caras. Se emplea el motor de cálculo EnergyPlus.

3.2.1.3 CYPETHERM HE PLUS



Figura 3.3: CYPETHERM HE PLUS (Fuente: Miteco)

CYPETHERM HE Plus es un programa reconocido por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Ministerio de Fomento para determinar la demanda energética de edificios nuevos y existentes, así como para generar el certificado energético y el informe de mejoras. Una de las características a mencionar de este programa es su capacidad para demostrar el cumplimiento de CTE DB HE 0, 1 Y 4. [5]

3.2.1.4 TEKTON 3D TK-CEEP



Figura 3.4: TEKTON 3D TK-CEEP (Fuente: Miteco)

Tekton3d TK CEEP es una herramienta informática capaz de obtener la calificación energética de todo tipo de edificios, posee herramientas de diseño del edificio así como motor de cálculo y herramientas de generación de documentación.[6]

El programa funciona siguiendo estas fases:

1. Definición geométrica y operacional del edificio.
2. Definición de los sistemas de climatización.
3. Simulación con el motor de cálculo Energyplus.



3.2.2 Procedimientos simplificados

3.2.2.1 CE3



Figura 3.5: CE3 (Fuente:Miteco)

Destinado a obtener la certificación energética de edificios y de partes de edificios existentes, ya sea de uso residencial, de pequeño y mediano terciario y también de gran terciario. A diferencia de su versión más moderna, el CE3X, el CE3 tiene una interfaz más exhaustiva y menos intuitiva, que ayuda a obtener unos resultados más precisos. En cuanto a resultados, el CE3 incluye:

- Calificación energética
- demanda de calefacción y de refrigeración
- Valor de la demanda de ACS en kWh/m²año.
- El consumo de energía final y primaria.
- El rendimiento medio de los equipos.
- El porcentaje de contribución de las energías renovables consideradas.

3.2.2.2 CE3X



Figura 3.6:CE3X (Fuente: Certicalia)

Con el mismo objetivo que su versión inferior pero con dos diferencias notables: la primera de ellas en la interfaz siendo esta más intuitiva y la segunda es que en CE3X el usuario va definiendo diferentes conjuntos de medidas de mejora, tanto de envolvente como de instalaciones. En cuanto a resultados obtenidos, el CE3X, a parte de la calificación también aporta la demanda de calefacción y de refrigeración, su indicador y su calificación, así como las emisiones de CO₂. [7]



3.2.2.3 CERMA



Figura 3.7: CERMA (Fuente: Miteco)

CERMA es un método simplificado desarrollado por el Instituto Valenciano de Edificación (IVE) junto con la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR) para certificar la eficiencia energética en edificios o partes de estos de carácter residencial, tanto nuevos como existentes. Este método combina potencia y fiabilidad, alcanzando un nivel muy cercano al de un procedimiento general. Además, permite verificar la mayoría de los requisitos del Documento Básico de Ahorro de Energía (DB HE).

3.3 LA ENERGIA GEOTÉRMICA

3.3.1 Definición y principios básicos

La energía geotérmica es la energía almacenada en forma de calor bajo la superficie sólida de la Tierra. Incluye el calor presente en rocas, suelos y aguas subterráneas, independientemente de su temperatura, origen o profundidad. Esta definición excluye el calor de cuerpos de agua superficiales, tanto continentales como marinos. Esta fuente de energía se considera renovable ya que no produce elementos nocivos como CO₂ o gases de efecto invernadero, y es inagotable.[8]

Este calor es producto de la desintegración espontánea de isótopos radiactivos presentes en pequeñas concentraciones en todas las rocas naturales, principalmente de uranio, potasio y torio. Esta generación de calor es continua y, al no poder disiparse completamente, provoca un incremento gradual de la temperatura en las capas internas del planeta. Este fenómeno da lugar a un gradiente geotérmico en la corteza terrestre, donde la temperatura aumenta aproximadamente 1 °C por cada 33 metros de profundidad desde la superficie. Este valor se conoce como el gradiente geotérmico estándar o normal, y es fundamental para la caracterización térmica de la corteza.



$$\frac{\Delta T}{\Delta Z} = -\frac{1}{33} \left(\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{m}} \right)$$

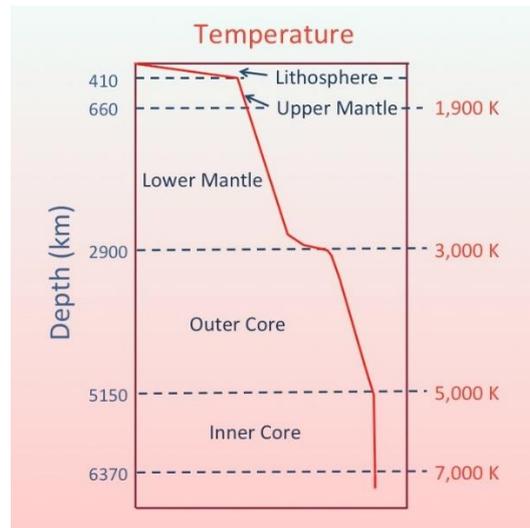


Figura 3.8: Gradiente geotérmico (Fuente: ICGC)

3.3.2 Tipos de yacimientos geotérmicos

Los yacimientos geotérmicos son aquellas zonas de la superficie terrestre que cumplen unas características que permiten aprovechar los recursos geotérmicos del subsuelo. Para que se presente un yacimiento geotérmico se deben dar las siguientes condiciones [9]:

- Existencia de un foco de calor activo.
- Presencia de un material permeable con una base impermeable, conocido como reservorio geotérmico, a través del cual circula un fluido, generalmente agua de origen meteórico en estado líquido o vapor.
- Existencia de una capa sellante que restrinja la salida del fluido.

Los yacimientos pueden ser de 4 tipos según su temperatura:

- Recursos de muy baja temperatura: inferior a 30°C.
- Recursos de baja temperatura: entre 30 y 90°C.
- Recursos de media temperatura: entre 90 y 150°C.
- Recursos de alta temperatura: superior a 150°C

Tabla 3.11: Tipos de yacimientos geotérmicos (Fuente: Ovacen)

Según profundidad	Temperatura del fluido	Aplicaciones	Uso general
Geotermia profunda (Uso a gran escala)	Alta Temperatura > 150°	Producción de electricidad (Central geotérmica)	Producir energía renovable
	Media temperatura 100 - 150°	Producción de electricidad con ciclos binarios (Central geotérmica)	Producir energía renovable
	Baja temperatura 30 - 100°	Aplicaciones térmicas directas (Puede necesitar bomba de calor)	Calefacción y refrigeración urbana geotérmica: edificios residenciales, invernaderos, piscinas, industrias, balnearios y muchos otros.
Geotermia somera o superficia (Uso doméstico)	Muy baja temperatura < 30°	Aplicaciones térmicas indirectas (Bomba de calor geotérmica)	Climatización, ACS y Calefacción por medio de bomba de calor geotérmica.

3.3.2.1 Yacimientos de alta entalpía

Son aquellos donde el fluido se encuentra a altas presiones y temperaturas (150°C a 300°C) pudiendo aprovecharse para generar electricidad. Estos yacimientos están en zonas con gradiente geotérmico muy alto, coincidiendo con fenómenos geológicos extremos como actividad volcánica o sísmica. Se explotan a profundidades entre 1.5 y 3 kilómetros.[10]

La producción de energía eléctrica se aprovecha de la energía del agua subterránea al subir hacia la superficie, la cual pierde presión que es lo que fomenta la producción de vapor. Este vapor se separa del agua mediante un separador de fases y luego se dirige a una turbina que convierte la energía del vapor en electricidad.

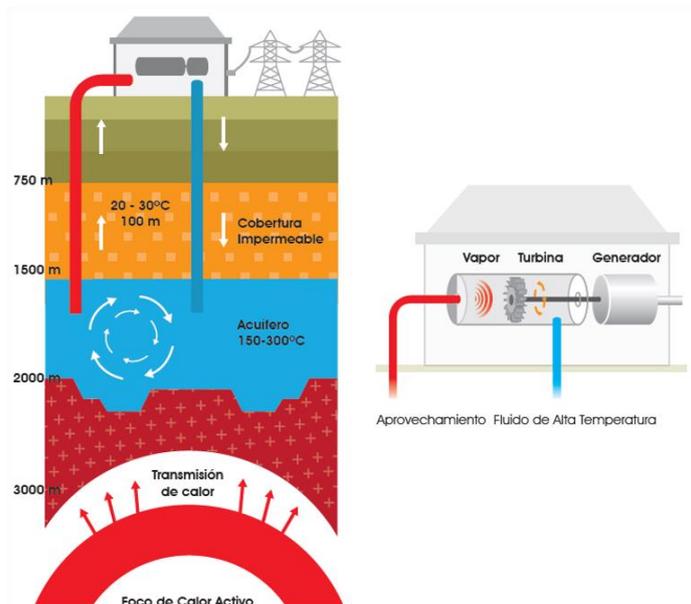


Figura 3.9: Aprovechamiento fluido alta temperatura (Fuente: Unioviedo)



3.3.2.2 Yacimientos de media entalpía

Estos son yacimientos de menor temperatura que, aunque alcanzan entre 100 y 150 °C, pueden proporcionar suficiente calor para la generación de electricidad, aunque con una eficiencia inferior a la de los yacimientos de alta temperatura. En general, se encuentran en zonas con condiciones geológicas y estructurales favorables y temperaturas superiores al promedio. Además de generar electricidad, también pueden aprovecharse directamente en forma de calor ya sea para calefacción o para procesos industriales.

Para producir energía es necesario utilizar un fluido intermedio (que tenga una temperatura de ebullición menor que la del agua) para mediante el vapor de dicho fluido intermedio mover una turbina conectada a un generador, produciendo energía eléctrica en lo que se denomina un ciclo binario:

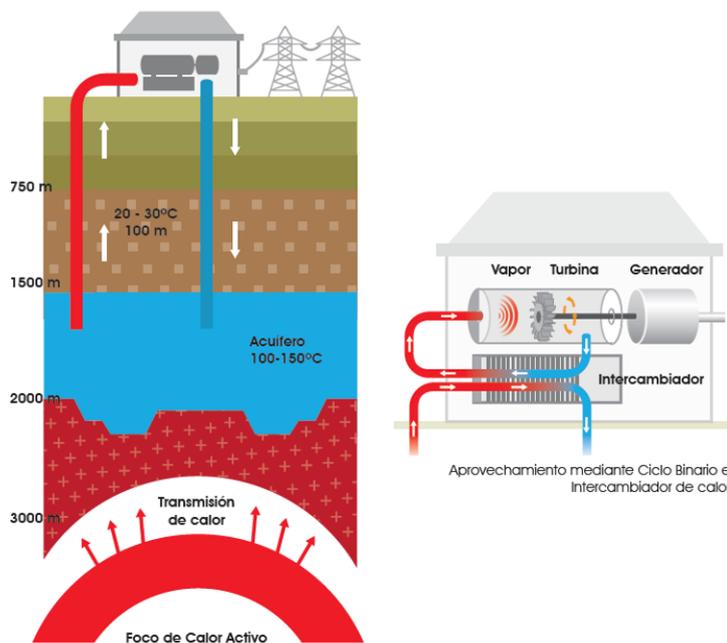


Figura 3.10: Aprovechamiento mediante ciclo binario e intercambiador de calor (Fuente: Unioviedo)



3.3.2.3 Yacimientos de baja entalpía

Cuando la temperatura se sitúa entre 30 y 100 °C, su aprovechamiento es directo, ya que no alcanza el nivel necesario para la generación de energía eléctrica. En este rango de temperatura, las aplicaciones incluyen la climatización de viviendas y edificios de pequeña escala, balneoterapia y diversos procesos industriales.

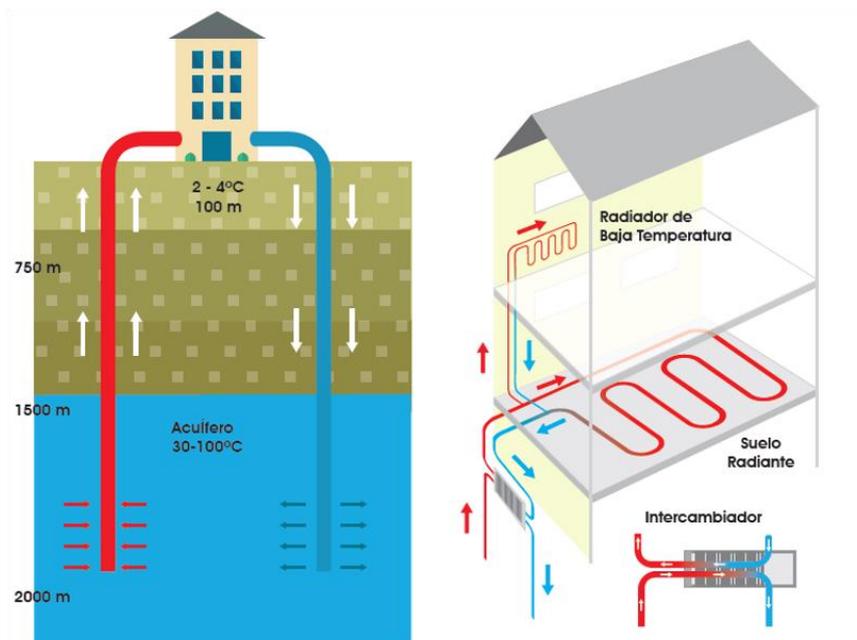


Figura 3.11: Aprovechamiento geotérmico baja temperatura (Fuente: Unioviedo)



3.3.2.4 Yacimiento de muy baja entalpía

Los recursos geotérmicos con temperaturas inferiores a 30 °C se encuentran a escasa profundidad y pueden aprovecharse durante todo el año mediante el uso de bombas de calor geotérmicas para la climatización de viviendas. En España, la temperatura promedio del subsuelo oscila entre 15 y 17 °C. En instalaciones residenciales, esta energía puede captarse mediante sistemas verticales de tuberías, captadores horizontales en el suelo, o mediante la integración con paneles solares para optimizar el rendimiento.

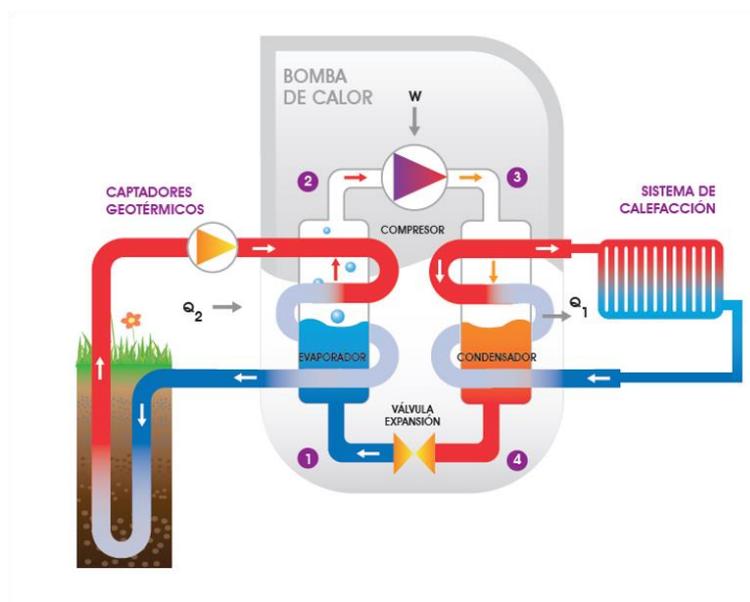


Figura 3.12: Sistema geotérmico de muy baja temperatura (Fuente: Unioviedo)



3.3.3 Aplicaciones en viviendas

Estudios sobre las variaciones térmicas a lo largo del año han demostrado que, a una profundidad de aproximadamente 1 metro, las temperaturas pueden variar en más de 10 °C debido a la influencia de las condiciones climáticas superficiales. Sin embargo, a profundidades superiores a 10 metros, la variación térmica es prácticamente nula, salvo en presencia de corrientes de agua subterránea cercanas. La temperatura almacenada en el suelo está condicionada por múltiples factores: la vegetación, las condiciones meteorológicas, la cubierta del suelo, la cantidad de nieve acumulada, la pendiente del terreno y las propiedades geológicas. De manera simplificada, las variaciones de temperatura pueden representarse según la siguiente gráfica:

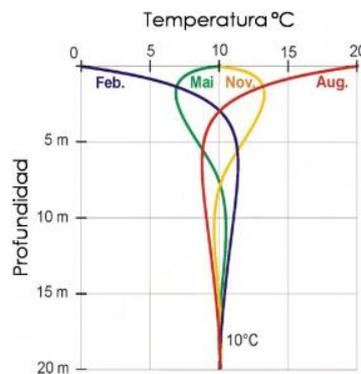


Figura 3.13: Variación de la temperatura del terreno (Fuente: Asamblea del medio ambiente)

Por lo tanto, en los yacimientos geotérmicos de muy baja entalpía, se hace pasar, por medio de una tubería en circuito cerrado, un fluido (agua con refrigerante) que hace posible el aprovechamiento del calor del subsuelo a poca profundidad.[9]

El uso directo de la energía geotérmica puede dividirse en tres áreas principales: la producción de energía eléctrica, el sector industrial y el sector residencial. Dado que este Trabajo Fin de Grado se centra en la climatización de una vivienda unifamiliar, se abordará únicamente su aplicación en el sector residencial.

De esta forma se puede dejar de usar combustibles fósiles considerados altamente contaminantes y caros

Se recomienda que el yacimiento geotérmico de baja o muy baja entalpía esté ubicado cerca del lugar que se desea climatizar, ya que los sistemas necesarios para captar el calor del subsuelo implican un costo elevado.

Principalmente existen dos aplicaciones para el uso residencial:



3.3.3.1 District heating

Se refiere a un sistema central de calefacción, generalmente llamado "district heating". Estos sistemas pueden cubrir las necesidades de calor de varios usuarios ubicados en un área amplia, como un vecindario o incluso una ciudad completa. En sus inicios solo se satisfacía la demanda de calefacción, pero posteriormente se amplió al suministro de refrigeración. En general, los "district heating" pueden ser abiertos o cerrados: los sistemas cerrados serán los circuitos de calefacción con tubería de distribución y una tubería de retorno, en cambio, los circuitos de ACS son sistemas abiertos, porque una vez utilizado el fluido caliente se vierte como agua residual. En algunas zonas de EEUU se utilizan sistemas de este tipo para mantener las calzadas y las aceras sin hielo.[9]

- ❖ **Mieres District heating:** En España, un caso innovador es el de Mieres district heating promovido por el grupo Hunosa y que, mediante el agua de mina del pozo Barredo ha conseguido abastecer en una primera fase la climatización a un hospital, un edificio universitario y a la sede de la Fundación Asturiana de la Energía. Hay una segunda fase en marcha que abastecerá el edificio principal del campus universitario de Barredo, a un instituto de educación secundaria y a dos edificios de 250 viviendas, lo que convertirá al Pozo Barredo en el mayor aprovechamiento geotérmico de España, con 6MWt de potencia.[11]

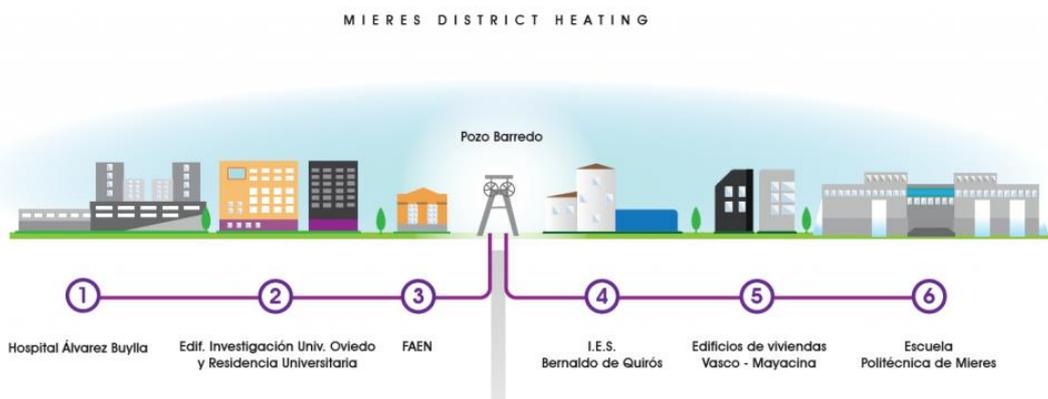


Figura 3.14: Mieres district heating (Fuente: Grupo Hunosa)



3.3.3.2 Bomba de calor geotérmica (ghp)

La meta de estas bombas es aprovechar los recursos geotérmicos de temperatura muy baja para proporcionar calefacción y agua caliente en una vivienda sin necesidad de utilizar otra fuente de energía. La obra necesaria para colocar este sistema consiste en realizar una serie de perforaciones verticales en el jardín para intercambiar energía con el suelo. Se insertan tubos en ellas a través de los cuales circula un líquido que absorbe o cede calor desde la bomba de intercambio geotérmico.

La ventaja de esta tecnología es que es reversible teniendo ciclo de calefacción y ciclo de refrigeración:

- **Ciclo de calefacción:** El evaporador extrae calor del foco frío, que sería la captación geotérmica. El condensador transfiere ese calor al foco caliente, que es el espacio a climatizar. Para ello, se utiliza otro circuito cerrado, como suelo radiante, fan coils u otros sistemas, a través de los cuales circula agua:

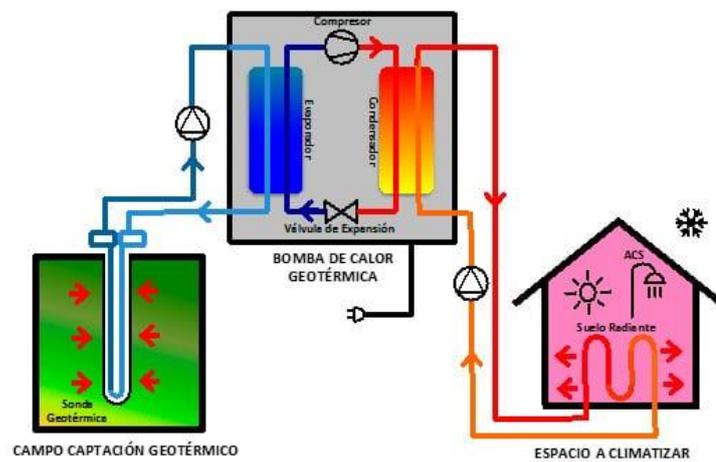


Figura 3.15: BCG modo calefacción (Fuente: Geotermia vertical)

- **Ciclo de refrigeración:** Cuando la bomba de calor geotérmica (BCG) está en modo de refrigeración, su funcionamiento se invierte. El evaporador intercambia calor con el foco frío, que son los circuitos de distribución interior, como el suelo radiante o los fan coils, mientras que el condensador intercambia calor con el foco caliente, en este caso el terreno.

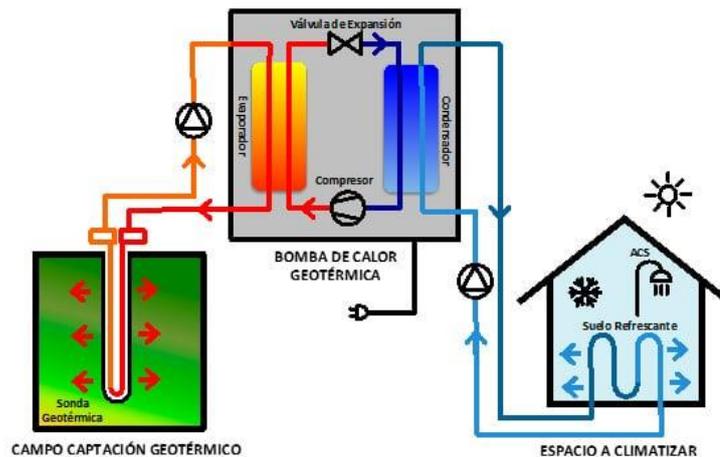


Figura 3.16: BCG modo refrigeración (Fuente: Geotermia vertical)

3.3.4 Tendencias actuales en viviendas

La utilización de energía geotérmica en el ámbito residencial se encuentra en una fase de expansión crucial, ya que cada vez se instalan un mayor número de sistemas geotérmicos en viviendas. Este aumento fomenta la innovación en tecnologías geotérmicas cada vez más accesibles para los hogares. Estos sistemas ofrecen diversas ventajas: generan un impacto ambiental mínimo, reducen el consumo energético en aproximadamente un 70-80% en comparación con otros sistemas convencionales, presentan costos de mantenimiento relativamente bajos y cuentan con una prolongada vida útil.

Estos beneficios convierten a la geotermia en una alternativa cada vez más atractiva para el sector residencial, apoyando la sostenibilidad energética y la reducción de la huella ecológica.

Cabe mencionar que esta tecnología tiene un ámbito de aplicación todavía pequeño, es decir, la mayoría de las instalaciones de este tipo son en viviendas unifamiliares de nueva construcción y por lo general en zonas no urbanas.

Es en estas situaciones donde esta tecnología se combina con otras para lograr una eficiencia muy alta, como por ejemplo, al combinar geotermia con otra fuente



renovable, como paneles solares o generadores mini eólicos para abastecer la demanda energética de la bomba de calor geotérmica (muy pequeña, de entre 1-2kW) y el resto de aparatos eléctricos de la vivienda.[22]

Es muy recomendable en el uso de esta tecnología para climatización combinarla con suelo radiante, ya que la temperatura se distribuye de manera uniforme, sin movimiento de aire Y con el perfil óptimo de temperatura en invierno.

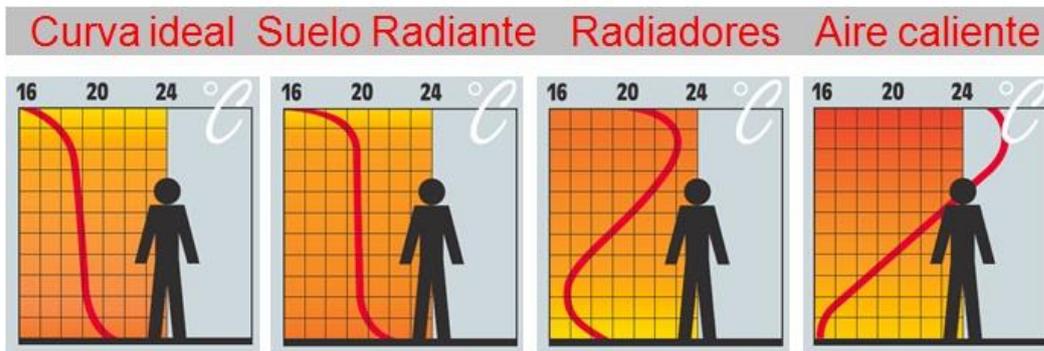


Figura 3.17: Perfiles de temperatura para distintos sistemas de calefacción (Fuente: Neytesa)



3.4 LA ENERGÍA FOTVOLTAICA

3.4.1 Definición y principios básicos

La energía solar fotovoltaica convierte de manera directa la radiación solar en electricidad mediante el uso de paneles fotovoltaicos. Estos paneles están formados por células fabricadas con materiales semiconductores, generalmente de silicio, y cubiertas con una capa de vidrio que permite el paso de la luz. La radiación solar excita los electrones de estos semiconductores, produciendo una pequeña diferencia de potencial que da lugar a una corriente eléctrica.

Las células se agrupan en módulos que pueden durar hasta 30 años con una eficiencia superior al 80% después de 25 años. Una de las ventajas de esta tecnología es que no solo funciona con luz directa, sino que también lo hace en días nublados, durante el amanecer y al anochecer.[23]

La electricidad generada es en corriente continua y se convierte mediante un inversor en corriente alterna para poder ser utilizada en los diferentes aparatos presentes en el sistema eléctrico de la casa.

Aunque el efecto fotovoltaico se conocía desde el siglo XIX, su desarrollo significativo empezó en los años 50, durante la carrera espacial, cuando se usaron para alimentar satélites. Hoy en día, su versatilidad es tal que se usa tanto como para pequeños dispositivos autónomos como para suministrar electricidad a varias ciudades.

España es un país con un enorme potencial para esta tecnología gracias a su ubicación.

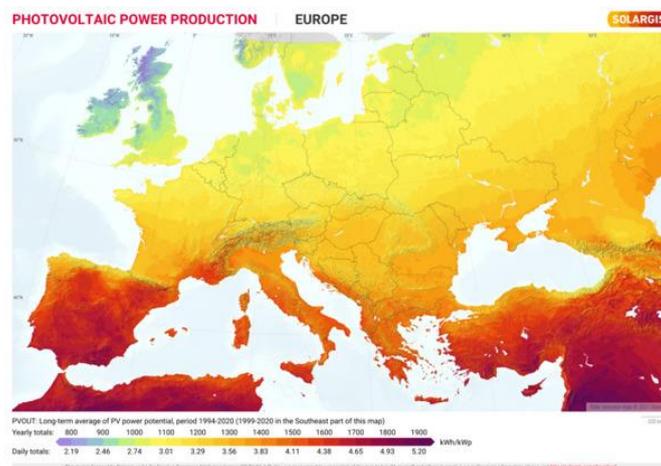


Figura 3.18: Photovoltaic Electricity Potential (Fuente: SOLARGIS)

3.4.2 Funcionamiento de los paneles solares

Las instalaciones fotovoltaicas operan mediante el efecto fotovoltaico, que transforma la radiación solar en electricidad utilizando células fotovoltaicas hechas de materiales semiconductores. Cuando los fotones de la luz solar impactan en estas células, transfieren su energía a los electrones del material, provocando su desplazamiento y generando una corriente eléctrica que puede fluir a través de un circuito externo.

El denominado efecto fotovoltaico funciona de la siguiente forma: la luz solar, compuesta por fotones incide sobre una célula fotovoltaica, pudiendo estos fotones ser reflejados, absorbidos o simplemente atravesar dicha célula. Los fotones absorbidos son los responsables de producir electricidad, ya que, al ser absorbidos, la energía del fotón se transfiere a un electrón de un átomo de la célula. Con esta nueva energía, el electrón puede escapar de su posición normal asociado con un átomo para formar parte de una corriente eléctrica en un circuito.

Las células solares tienen dos capas de semiconductores dopadas (tipo p y tipo n) que crean un campo eléctrico que atrapa a los electrones liberados por la luz solar, formando así una corriente eléctrica. Estos materiales funcionan como aislantes a temperaturas bajas, pero se transforman en conductores cuando aumenta la temperatura.[24]

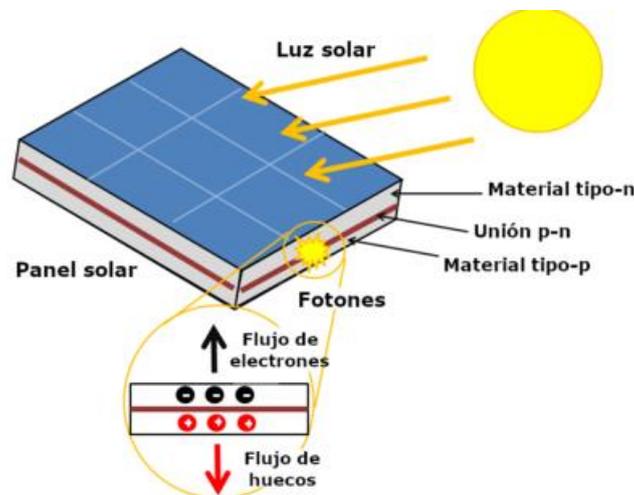


Figura 3.19: Funcionamiento de una célula fotovoltaica (Fuente: Enciclopedia de energía)



3.4.3 Tipos de sistemas fotovoltaicos

Estos son los tres tipos de sistemas fotovoltaicos más usados:

3.4.3.1 Sistema aislado de la red o autónomo

Son aquellos que no están conectados a la red eléctrica, generalmente por estar alejados de la línea eléctrica. Estos sistemas suelen componerse de varios elementos: un panel solar que produce electricidad, un sistema de baterías que la almacena, un regulador de carga que gestiona los niveles de carga y descarga de las baterías y un inversor que convierte la corriente continua (CC) en corriente alterna (CA). Cabe destacar que la producción de electricidad en estos sistemas depende exclusivamente de la irradiancia solar, lo cual puede interrumpir la generación en determinados momentos, por lo tanto, es importante tener un buen dimensionamiento de las baterías para garantizar el suministro en las peores condiciones.

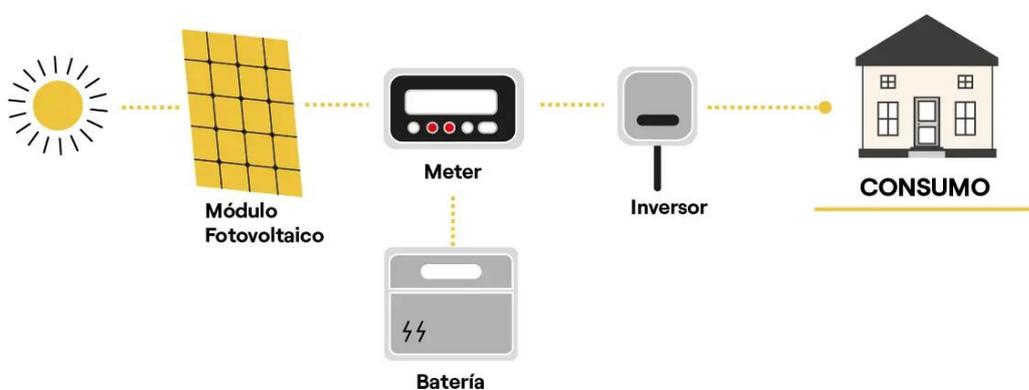


Figura 3.20: Sistema fotovoltaico aislado (Fuente: Sotysolar)

3.4.3.2 Sistema conectado a red

A diferencia de los sistemas aislados, los sistemas fotovoltaicos conectados a la red están integrados a un suministro eléctrico legalizado, lo que permite a los usuarios disponer de electricidad cuando el sistema no produzca ya sea por climatología adversa o simplemente por ser de noche. Esta característica, junto con la posibilidad de incorporar baterías de apoyo, hace que estos sistemas sean los preferidos en el



sector residencial de nuestro país. Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red constan de: módulos fotovoltaicos, un inversor que convierte la corriente continua en corriente alterna, y un medidor que registra tanto la energía tomada de la red como la vertida a ella.

La última sección del sistema varía según la modalidad de autoconsumo elegida por el usuario. En el caso del autoconsumo sin excedentes, se coloca un dispositivo anti-vértido que impide cualquier flujo de energía del sistema fotovoltaico a la red eléctrica. Si el usuario elige el autoconsumo con excedentes, el sistema incorpora un medidor que registra la cantidad de energía excedente vertida a la red.

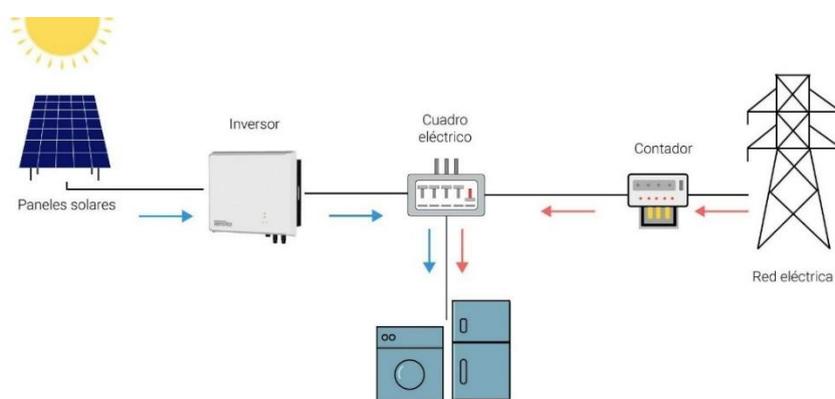


Figura 3.21: Sistema fotovoltaico conectado a red (Fuente: Autosolar)

3.4.3.3 Sistema conectado a red con baterías de apoyo

Los sistemas conectados a la red con baterías de apoyo se pueden considerar como una combinación de los dos anteriores. Son sistemas conectados a un suministro eléctrico a los cuales se les añade una red de baterías para almacenar la energía producida por el generador fotovoltaico y posteriormente utilizarla cuando la demanda de la vivienda lo requiera.

En este tipo de sistemas están presentes todos los componentes que hemos visto en los otros dos tipos; generadores fotovoltaicos, inversores, baterías, reguladores de carga y medidores bidireccionales.

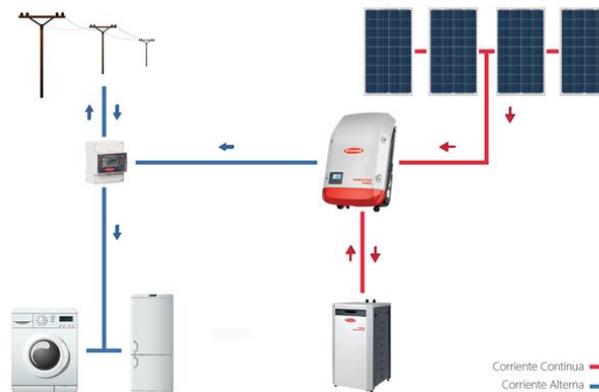


Figura 3.22: Sistema fotovoltaico conectado a red con baterías (Fuente: Saclima)

3.4.4 Tendencias actuales en viviendas

Los sistemas aislados son los que a todo el que planea una instalación fotovoltaica le gustaría tener ya que la idea de no depender de red eléctrica es muy atractiva, pero cuando se analiza el consumo, lo que se necesitaría invertir en paneles solares, en baterías y en un buen inversor se determina que muy pocas viviendas pueden amortizar este tipo de instalaciones hoy en día.

Los sistemas que están conectados a la red con baterías de apoyo actualmente son los más eficientes y los que más ahorro producen ya que pueden almacenar la energía que producen los generadores fotovoltaicos durante el día para usarla por la noche o en días con poca producción. Además, al estar conectados a la red, garantizan que durante épocas de condiciones climáticas adversas el suministro de electricidad no se interrumpa.

Esta clase de sistema es especialmente interesante para aquellos que desean reducir al mínimo su factura eléctrica, ya que, con un adecuado dimensionamiento del sistema de baterías, es posible cubrir toda la demanda energética de la vivienda utilizando únicamente la electricidad generada por los paneles solares.

No obstante, aunque el ahorro que ofrecen es superior en comparación con los sistemas conectados a la red sin baterías, la inversión inicial requerida es considerablemente mayor debido al elevado costo de las baterías.



4. METODOLOGÍA

4.1 CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA

Este TFG toma como referencia una vivienda unifamiliar con una parcela de 1000 m². La casa posee 200 m² útiles de los cuales 142,30 m² son climatizados.

4.1.1 Distribución

La casa consta de dos plantas:

- Planta Baja: Distribuidor, Salón, Garaje, cuarto instalaciones, dormitorio, cocina, porche y baño.
- Planta primera: Distribuidor, baño 2, baño 3, dormitorio 2, dormitorio 3, dormitorio 4 y terraza.

Tabla 4.1: Superficie de las estancias.

PLANTA	RECINTO	SUPERFICIE(m ²)
PLANTA BAJA	Distribuidor	13,92
	Salón	33,93
	Garaje	28,26
	cuarto instalaciones	4,86
	Dormitorio 1	16,10
	Cocina	20,63
	Porche	21,97
	Baño 1	3,58
PLANTA PRIMERA	Distribuidor	6,92
	Baño 2	3,00
	Baño 3	4,55
	Dormitorio 2	13,93
	Dormitorio 3	10,41
	Dormitorio 4	10,47
	Terraza	37,90



DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN GEOTÉRMICA CON APOYO FOTOVOLTAICO PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR

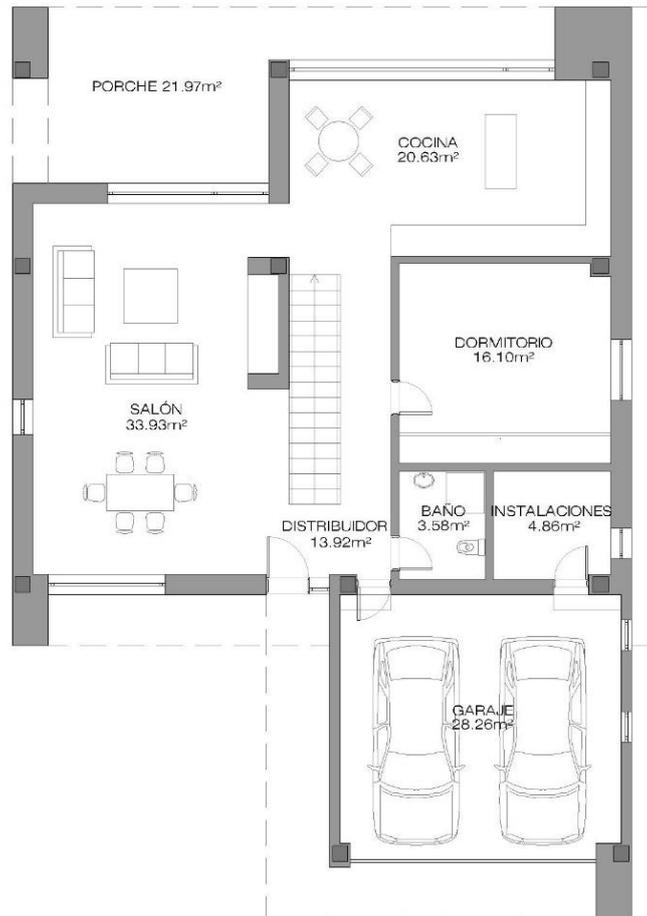


Figura 4.1: Distribución planta baja (Fuente: Solux)

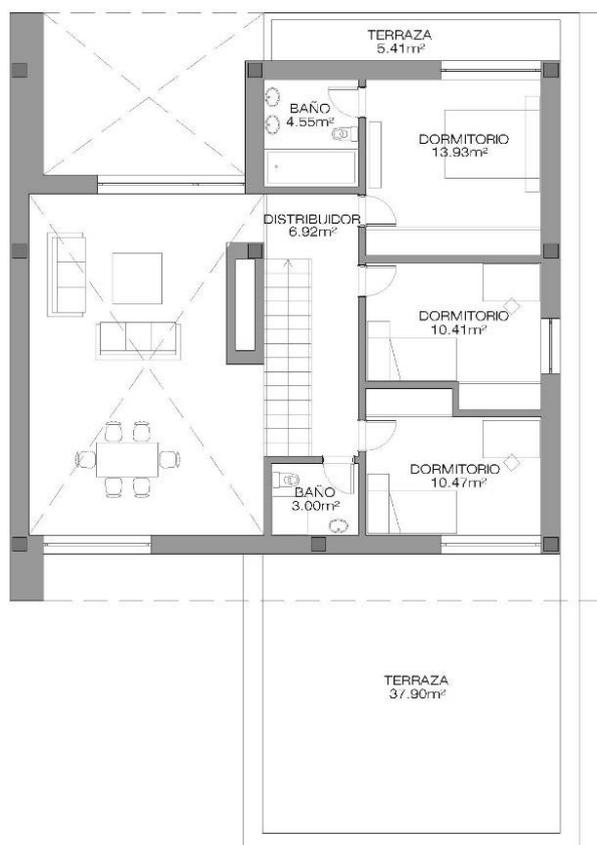


Figura 4.2: Distribución primera planta (Fuente: Solux)

4.1.2 Localización y orientación

La vivienda se va a localizar en Quevedo, pueblo perteneciente al municipio de Santillana del Mar.

El ángulo formado por la perpendicular de la fachada principal respecto a la orientación del norte es 200° , por lo que la orientación de la fachada principal es Suroeste, como se aprecia en la siguiente figura:

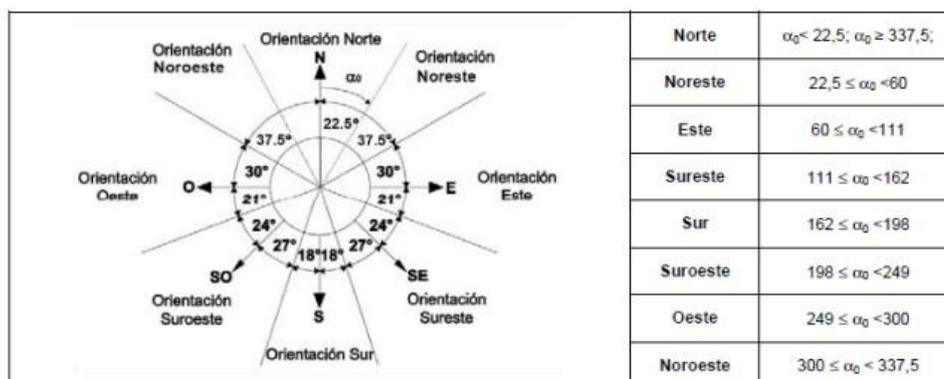


Figura 4.3: Orientación de las fachadas (Fuente: Fomento 2013)

4.1.3 Condiciones climáticas

Santillana del Mar posee un clima atlántico, caracterizado por ser cálido y templado. La cantidad de precipitación en Santillana del Mar son notables, ya que hay una cantidad considerable de precipitaciones incluso durante los meses que normalmente experimentan un clima seco. La temperatura promedio en Santillana del Mar es 13.7 °C. La precipitación es de 1132 mm al año.[12]

Tabla 4.2: Datos históricos del tiempo Santillana del Mar (1991-2021)

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	8.2	8.2	10.3	11.9	14.4	17.5	19.4	19.8	18.2	15.6	11.2	9
Temperatura min. (°C)	5.1	4.8	6.3	8	10.6	13.8	15.8	16.2	14.4	12	8.3	5.9
Temperatura máx. (°C)	11.7	12	14.5	15.9	18.2	21.3	22.9	23.5	22.2	19.6	14.5	12.7
Precipitación (mm)	116	102	100	106	82	66	54	58	77	106	157	108
Humedad(%)	79%	77%	75%	76%	78%	78%	76%	76%	76%	75%	78%	76%
Días lluviosos (días)	11	9	9	11	10	8	8	8	9	10	12	10
Horas de sol (horas)	5.2	5.7	7.3	8.0	8.3	8.3	7.9	8.0	7.9	7.4	5.8	5.5

Para la selección de la zona climatológica del emplazamiento, según el DB-HE 1 (Documento Básico de ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación de España, Anexo 4: DB-HE), se utiliza la tabla siguiente:



Tabla 4.3: Zonas climatológicas de la Península Ibérica.

Provincia	Altitud sobre el nivel del mar (h)																							
	≤ 50 m	51 - 100 m	101 - 150 m	151 - 200 m	201 - 250 m	251 - 300 m	301 - 350 m	351 - 400 m	401 - 450 m	451 - 500 m	501 - 550 m	551 - 600 m	601 - 650 m	651 - 700 m	701 - 750 m	751 - 800 m	801 - 850 m	851 - 900 m	901 - 950 m	951 - 1000 m	1001 - 1050 m	1051 - 1250 m	1251 - 300 m	301 - 1301 m
Albacete	C3					D3					E1													
Alicante/Alacant	B4			C3			D3																	
Almería	A4	B4		B3		C3			D3															
Araba/Álava	D1					E1																		
Asturias	C1	D1					E1																	
Ávila	D2					D1					E1													
Badajoz	C4				C3		D3																	
Balears, Illes	B3			C3																				
Barcelona	C2		D2		D1			E1																
Bizkaia	C1			D1																				
Burgos	D1					E1																		
Cáceres	C4				D3					E1														
Cádiz	A3	B3		C3		C2			D2															
Cantabria	C1		D1					E1																
Castellón/Castelló	B3		C3			D3		D2			E1													
Ceuta	B3																							
Ciudad Real	C4				C3		D3																	
Córdoba	B4		C4			D3																		
Coruña, A	C1			D1																				
Cuenca	D3					D2			E1															
Gipuzkoa	D1				E1																			
Girona	C2		D2		E1																			
Granada	A4	B4			C4		C3		D3			E1												
Guadalajara	D3					D2		E1																
Huelva	A4	B4	B3		C3			D3																
Huesca	C3			D3		D2			E1															
Jaén	B4				C4			D3			E1													
León	E1																							
Lleida	C3		D3			E1																		
Lugo	D1					E1																		
Madrid	C3					D3			D2		E1													
Málaga	A3	B3		C3			D3																	
Melilla	A3																							
Murcia	B3		C3			D3																		
Navarra	C2		D2		D1			E1																
Ourense	C3		C2		D2			E1																
Palencia	D1					E1																		
Palmas, Las	α3			A2			B2		C2															
Pontevedra	C1			D1																				
Rioja, La	C2		D2			E1																		
Salamanca	D2					E1																		
Santa Cruz de Tenerife	α3			A2			B2		C2															
Segovia	D2					E1																		
Sevilla	B4		D2			C4			D1		E1													
Soria	B3			C3		D2			D3			E1												
Tarragona	B3		C3			C2		D2			E1													
Teruel	C3			C2		D2			E1															
Toledo	C4					D3			E1															
Valencia/València	B3		C3			D2			E1															
Valladolid	D2					E1																		
Zamora	D2					E1																		
Zaragoza	C3			D3			E1																	



4.1.4 Condiciones Geológicas

En un proyecto de instalación de geotermia, es muy importante entender las condiciones geológicas del lugar de la instalación, ya que factores como la conductividad y la capacidad térmica de los sustratos que afectan directamente en el sistema de captación.

Para conocer dichas condiciones se recurre al visualizador de información geológica de Cantabria, donde se puede extraer el corte geológico de la zona de interés e identificar la composición de los primeros 100 metros de profundidad.[13]

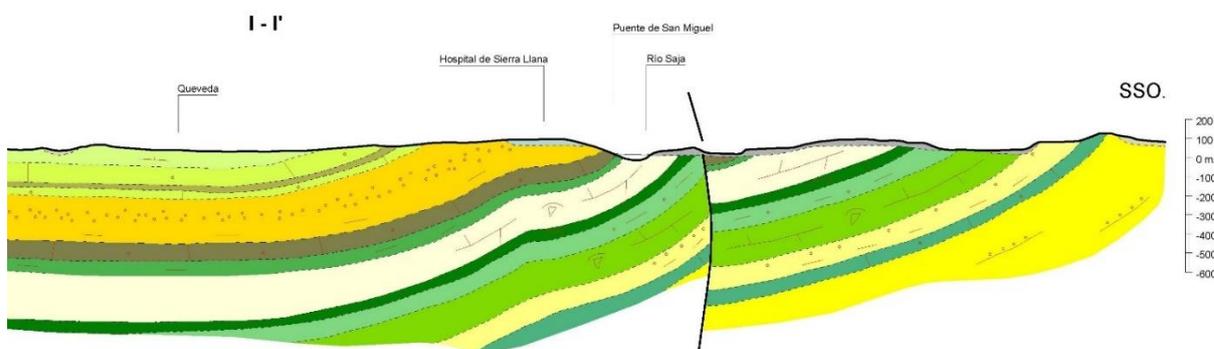


Figura 4.4: Corte geológico de la localidad de Quevedo (Fuente: Mapas de Cantabria)

Tabla 4.4: Valores de conductividad y capacidad térmica para distintos materiales

Sustrato	Conductividad térmica (W/mK)	Capacidad térmica (MJ/m ³ K)
Margas	2,1	2,2
Arena	2,4	2,3
Grava	1,8	2,4

Se obtienen los valores promediados del terreno, incrementándolos un 10%, para aumentar la seguridad de la elección:

- Conductividad térmica (W/mK): 2,31
- Capacidad térmica (MJ/m³ K): 2,53



4.2 ANÁLISIS DE DEMANDA ENERGÉTICA

Conocer la demanda energética de un edificio de nueva construcción no es fácil, ya que hay que basarse en suposiciones para obtener una estimación aproximada. Factores como el tiempo de uso y el tipo de actividad que se desarrollará en su interior son importantes a la hora de calcular la energía demandada para mantener las condiciones adecuadas de confort y habitabilidad. Por lo tanto, es necesario contar con algún método de apoyo para calcular la demanda energética de cualquier vivienda

En este caso se han considerado dos métodos para estimar la demanda de energía de la vivienda:

- **Tabla de consumo:** Se hace una tabla que incluye todos los aparatos conectados a red de la casa, así como la iluminación, que deberá ser de tecnología LED para contribuir a un menor consumo, así como electrodomésticos de última generación con calificación energética A++ y A+++ . En esta tabla se especifica la potencia de cada elemento y las horas de uso diarias para poder así obtener una aproximación del consumo.
- **Programas de certificación energética:** En este caso no se trata solo de obtener la certificación energética de las instalaciones, sino que es una forma de obtener también la demanda de calefacción con el objetivo de dimensionar las instalaciones. De hecho, este proyecto pretende lograr la máxima eficiencia energética del edificio una vez se hayan instalado los sistemas de calefacción por geotermia y las placas fotovoltaicas.

4.3 ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA MEDIANTE SOFTWARE

Este certificado proporciona información sobre el consumo de energía de un edificio y su impacto ambiental además de ayudar a los consumidores a tomar decisiones en cuanto a eficiencia y dimensionamiento de las instalaciones.

En este caso se emplea el software CE3X, reconocido como "Documento Reconocido para la Certificación Energética de Edificios Existentes", validado por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). Este programa simplifica el proceso para obtener la certificación energética de distintos tipos de edificios, permitiendo obtener calificaciones basadas en diversas condiciones. Su funcionamiento se basa en comparar el edificio evaluado con una base de datos específica para cada zona climática de España.

Con CE3X se necesita trabajar sobre plano, sino conocer las dimensiones. Se trabaja introduciendo las medidas y orientación de la envolvente, detallando paso por paso cada una de las zonas, de esta forma, ninguna de las partes del edificio queda sin detallar. Asimismo, el sistema permite realizar un análisis económico detallado y generar un informe impreso que incluye todas las propuestas de mejora, para comparar las posibilidades de cambio de calificación energética.



4.4 DIMENSIONAMIENTO SISTEMA GEOTÉRMICO

Constará de los elementos necesarios para calcular las cargas térmicas, así como los criterios que serán utilizados para realizar la selección de equipos

4.4.1 Cargas Térmicas

Para obtener la demanda de energía a cubrir mediante energía geotérmica en la vivienda hay que definir las cargas térmicas ya que en función de ellas se diseñará la bomba de calor y los sistemas de distribución para cubrirlas. Se tendrán en cuenta los siguientes puntos para calcular las cargas térmicas:

4.4.1.1 Condiciones exteriores de la vivienda

El cálculo de la carga térmica para refrigeración no se realiza ya que la vivienda no contará con refrigeración.

El cálculo de la carga térmica para calefacción se realiza para una temperatura exterior de 10°C. La temperatura del terreno en invierno es aproximadamente 12°C a una profundidad de 20 centímetros [14].

4.4.1.2 Condiciones interiores de la vivienda

Las condiciones interiores requeridas para los cálculos se deben buscar en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE). Este reglamento define los parámetros ideales de temperatura y humedad relativa en el interior, teniendo en cuenta el metabolismo humano, la vestimenta y un porcentaje aproximado de personas insatisfechas (PPD).

Para un adulto promedio con una actividad metabólica sedentaria de 1.2 met, vestimenta de 0.5 clo en verano y 1 clo en invierno, y con un PPD inferior al 10%, la temperatura seca y humedad relativa que se recomienda es la siguiente:

Tabla 4.5: Condiciones interiores de la vivienda

Estación	Temperatura seca(°C)	Humedad Relativa(%)
Invierno	22°C	50%
Verano	24°C	50%



4.4.1.3 Envoltente térmica

Es el revestimiento que rodea la casa y la separa del entorno. Su principal función es mantener el interior aislado del exterior mediante la reducción de la transferencia de calor por convección, conducción o radiación.

Los cerramientos ayudan a mantener las áreas habitables de la casa aisladas del exterior y mediante paredes interiores, dividir las zonas habitables de aquellas que no lo son y del exterior.[25]

MUROS

Aíslan la parte habitable de la casa del exterior; en este caso, se trata de una fachada de varias capas también llamada multihoja, hecha de ladrillo caravista y otras capas de distintos materiales y grosores para conseguir un buen aislamiento. La estructura es la siguiente:

Tabla 4. 6: Composición muro exterior

Material	Espesor (cm)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)
Ladrillo perforado	11.2	0.25	0.06
Pie de ladrillo enfoscado	2	1.3	0.015
Poliestireno expandido	6	0.04	1.5
Tabique de ladrillo de hueco sencillo	7	0.437	0.16
Guarnecido de yeso	1.5	0.25	0.06
Pintura	-	-	-
		R total	1.887

El coeficiente global de transmitancia térmica se calcula con la siguiente ecuación:

$$U_F = \frac{1}{\frac{1}{h_{int}} + \sum_1^j \frac{e_j}{k_j} + \frac{1}{h_{ext}}}$$



VENTANAS

Las ventanas son de PVC, material que proporciona una gran resistencia al viento y gran aislamiento tanto acústico como térmico, debido al acristalamiento doble. La transmitancia térmica de estas mismas se considerará similar en todas y se calculará de la siguiente forma:

$$U_H = (1 - FM) \cdot U_{H,V} + FM \cdot U_{H,m}$$

U_H : transmitancia térmica de los huecos (W/m²K)

$U_{H,V}$: transmitancia térmica de la parte semitransparente(W/m²K): 2,5

$U_{H,m}$: transmitancia térmica del marco(W/m²K): 1,6

F_M : porción de hueco ocupado por el marco: 40,2%

PUERTAS

En este caso las puertas son también de PVC de vidrio con doble acristalamiento. Tienen la misma transmitancia que las ventanas, pero en este caso la fracción del hueco ocupada por el marco es de 40,2%. La transmitancia térmica de estas mismas se considera igual en todas y se calcula de la misma forma:

CUBIERTA

Separa la parte superior del espacio habitable del exterior, que también se conoce comúnmente como techo. En esta ocasión, la cubierta está formada por los siguientes materiales:

Tabla 4.7: Composición de la cubierta

Material	Espesor (cm)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)
Teja	10	0.24	0.42
Mortero	4	0.55	0.073
Poliestireno expandido	6	0.04	1.5
Entrevigado de EPS	20	0.341	0.59
Guarnecido de yeso	1.5	0.25	0.06
		R total	2.645

Según el DB-HE 1, R_{si} = 0.1 y R_{se} = 0.04, el coeficiente global de transmitancia será:



$$U_{cubierta} = \frac{1}{\frac{1}{h_{int}} + \sum_1^j \frac{e_j}{k_j} + \frac{1}{h_{ext}}}$$

SUELO

Separa el espacio habitable del terreno, en este caso tiene la siguiente estructura:

Tabla 4.8: Composición del suelo

Material	Espesor (cm)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)
Baldosa cerámica	2	2.3	0.0087
Mortero	5	0.55	0.091
Lana de roca	7	0.04	1.75
Hormigón	20	2.3	0.087
R total			1.95

Según el DB-HE 1, R_{si} = 0.17 y R_{se} = 0.0, el coeficiente global de transmitancia será:

$$U_{suelo} = \frac{1}{\frac{1}{h_{int}} + \sum_1^j \frac{e_j}{k_j} + \frac{1}{h_{ext}}}$$

4.4.1.4 Cálculo de cargas térmicas

Una carga térmica es una variable capaz de alterar la energía en los espacios que requieren climatización. Se expresa en kilovatios (kW) y se utiliza para dimensionar los sistemas necesarios para mantener las condiciones óptimas de temperatura y humedad en dichos espacios.



4.4.1.4.1 Carga térmica de calefacción

TRANSMISIÓN

Se conoce como el calor perdido o ganado según la siguiente ecuación:

$$Q_{tran} = U_m * S * (T_{int} - T_{ext})$$

Donde:

Q_{tran} : calor de transmisión (W)

U_m : coeficiente de transmisión (W/m²K)

S : superficie de transmisión (m²)

T_{int} : temperatura interior (K)

T_{ext} : temperatura. Exterior (K)

VENTILACIÓN

Se determina principalmente por la salubridad, además de por la ventilación, que varía según el local y las actividades que se realicen en él. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$Q_v = V_a * \rho_a * C_{p_a} * (T_{int} - T_{ext})$$

Donde:

Q_v : carga el ventilador (W)

V_a : caudal de aire (m³/s)

ρ_a : densidad del aire (kg/m³)

C_{p_a} : calor específico del aire (J/kgK)

T_{int} : temp. interior (K)

T_{ext} : temp. exterior (K)

4.4.1.4.2 Carga térmica de refrigeración

En este caso al tratarse de una localización con temperaturas templadas en verano no se contemplará la instalación de aire acondicionado.



4.4.2 Selección de equipo

4.4.2.1 Sistema de captación

El sistema de captación de una instalación es el conjunto de aparatos encargado de realizar el intercambio de calor con el terreno. Resumidamente es una bomba que en contacto con el terreno mediante conductos intercambiadores hace fluir un líquido que capta ese calor que luego es intercambiado con el circuito de climatización de la casa.

4.4.2.1.1 Temperatura del terreno:

El calor interno terrestre establece un equilibrio térmico entre la temperatura interna y la energía recibida de la radiación solar, manteniendo una temperatura cercana a la media anual. En los primeros 10 metros de profundidad, la temperatura presenta variaciones según la estación. Sin embargo, a partir de los 20 metros, se observa un aumento constante de temperatura, con un gradiente de a 3.3 °C por cada 100 metros de profundidad.[25]

Hasta los 20 metros se utiliza el modelo de estimación de Steve Kavanaugh y Kevin Rafferty que establece la siguiente ecuación:

$$T(z, t) = T_a - A_0 * e^{-z * \sqrt{\frac{\pi}{360\alpha}}} * \cos\left(\frac{2\pi}{365} * (t - t_0) - z * \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}\right)$$

Donde:

T : temperatura en profundidad z el día t (°C)

z : profundidad (m)

t : número de días desde el día referencia (días)

t_0 : constante de fase (días)

T_a : temperatura media anual del terreno (°C)

A_0 : máxima diferencia de temperaturas anual en la superficie del terreno (°C)

α : difusividad térmica del terreno (m²/día)



4.4.2.1.2 Configuración del intercambiador enterrado:

La bomba impulsa el fluido al interior del terreno y con este se hará el intercambio de calor, estas tuberías podrán tener dos disposiciones:

- **Verticales:** se realizan perforaciones verticales al terreno con profundidades entre 70 metros y 200 metros. Estas perforaciones son comunes en áreas donde no es viable instalar un sistema horizontal y en regiones con climas adversos, ya que permiten minimizar las variaciones de temperatura en los primeros metros de profundidad.
- **Horizontales:** Se realizan a unos 2m de profundidad y abarcan una superficie entre 2 y 3 veces la del edificio. Tienen menor coste que las perforaciones verticales, pero también menor rendimiento ya que la variación de temperatura del terreno a esta profundidad es mayor.

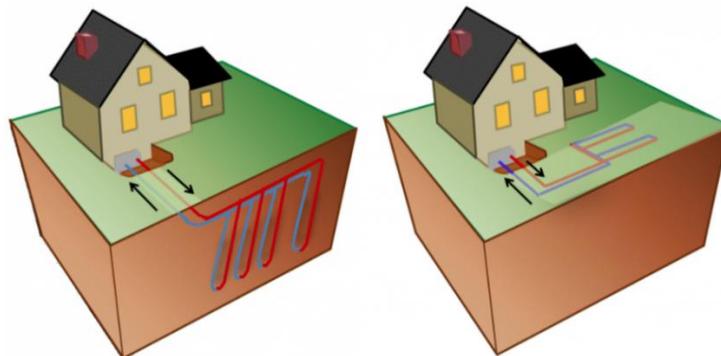


Figura 4.5: Sistema de captación verticales y horizontales (Fuente: Atlántico perforaciones)

En este caso, se escoge una configuración vertical con tubos en doble U con cuatro vías, comúnmente utilizada por su independencia a las temperaturas exteriores, de la cual habrá que calcular su longitud mediante las siguientes fórmulas.

4.4.2.1.3 Fluido caloportador

El fluido caloportador es una solución anticongelante diseñada para circular en el circuito del intercambiador geotérmico, transportando el calor entre el terreno y la bomba de calor, en ambas direcciones. Para garantizar un buen rendimiento, este fluido debe cumplir varios requisitos, como un punto de congelación bajo, propiedades termodinámicas estables y una viscosidad apropiada. Los fluidos más utilizados en estas aplicaciones son agua, etilenglicol y propilenglicol.



4.4.2.1.4 Profundidad de sondeo

El diámetro de un sondeo geotérmico depende del diámetro de los tubos de la sonda y de su número, dos o cuatro. Normalmente comprendido entre 150 y 180 mm. Otro caso es el de la profundidad, que deberá calcularse en función de la longitud de intercambio requerida, que será distinta para calefacción que para refrigeración, eligiéndose siempre la mayor. En este proyecto se considerará únicamente la calefacción, que se calcula de la siguiente forma:

$$L_{calefacción} = \frac{Q_{calefacción} * \frac{COP - 1}{COP} * (R_P + R_S * F_{calefacción})}{T_L - T_{MIN}}$$

Donde,

[25]

- $Q_{calefacción}$: Carga térmica de calefacción(kW)
- COP : característico de la bomba geotérmica
- T_L : Temperatura mínima de la tierra
- T_{MIN} : Temperatura mínima de entrada del fluido a la bomba
- R_P : Resistencia de los tubos al flujo del calor
- R_S : Resistencia de la tierra
- $F_{calefacción}$: Factor de utilización invierno.

4.4.2.2 Suelo radiante

El suelo radiante, como su nombre indica, no calienta el aire del ambiente, sino que transfiere el calor al suelo, a la pared o al techo, según como esté distribuido. Comúnmente este sistema se coloca bajo del suelo de la vivienda, por el cual circula el fluido que transfiere el calor al suelo mediante una red de tuberías de polietileno a través de las cuales circula el mismo entre 40°C y 12°C.

Los elementos principales que conforman una instalación de suelo radiante son los siguientes:

- Panel aislante: Se coloca encima del forjado y sirve para colocar las tuberías del suelo además de aislarlas. Suelen ser de poliestireno expandido (EPS).
- Tubería: Por ella circula el agua a distintas temperaturas en función del modo de uso, ya sea calefacción o refrigeración. Suelen ser tubería de polietileno reticulado (PE-Para 16 mm), Estas suelen ser de 16 mm de diámetro y 1,8 mm de espesor y en disposición espiral con un paso de 15 cm.

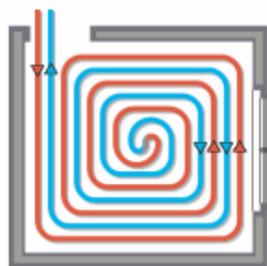


Figura 4.6: Circuito suelo radiante en espiral (Fuente: Leroy Merlin)

Cada estancia de la vivienda tendrá su propio circuito independiente, lo que permitirá ajustar la temperatura de cada estancia de manera individual. La longitud de cada circuito se determina de la siguiente forma:

$$L = \frac{A}{e}$$

Donde:

- L: Longitud del circuito de suelo radiante, [m].
- A: Superficie del local que vaya a ocupar el circuito, [m²].
- e: Distancia entre tubos, [m]. En espiral paso de 15 cm.

- Colectores: Estos elementos permiten la conexión entre las tuberías de distribución provenientes de la bomba de calor y los circuitos que alimentan las zonas del sistema de suelo radiante.
- Mortero y baldosa: se colocarán encima del suelo radiante.

4.4.2.3 Bomba de calor

La bomba de calor es el aparato encargado de extraer calor del subsuelo para su uso en calefacción, climatización y producción de agua caliente sanitaria (ACS).

Las bombas de calor operan aplicando el principio termodinámico del ciclo de Carnot, permitiendo transportar calor desde un foco frío hacia un foco caliente mediante la realización de cierta cantidad de trabajo. Este proceso facilita la transferencia de energía térmica en contra al flujo natural del calor (desde el foco más caliente hacia el foco más frío).

En el caso de las bombas de calor geotérmicas, el foco frío es el terreno, mientras que el foco caliente es el sistema de calefacción y/o ACS del edificio. El trabajo que necesita este proceso lo realiza un compresor eléctrico.

Se escogerá aquella que satisfaga las cargas térmicas.

4.5 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

4.5.1 Evaluación del recurso solar

4.5.1.1 Datos climatológicos: irradiación en el emplazamiento

La irradiación incidente en el lugar de la instalación es el recurso solar disponible para generar energía. Estos datos son necesarios para dimensionar el sistema. Para ello, se emplea la herramienta PVGIS (Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica), que proporciona datos de irradiación de cualquier parte del mundo basándose en datos satelitales como terrestres.[26]

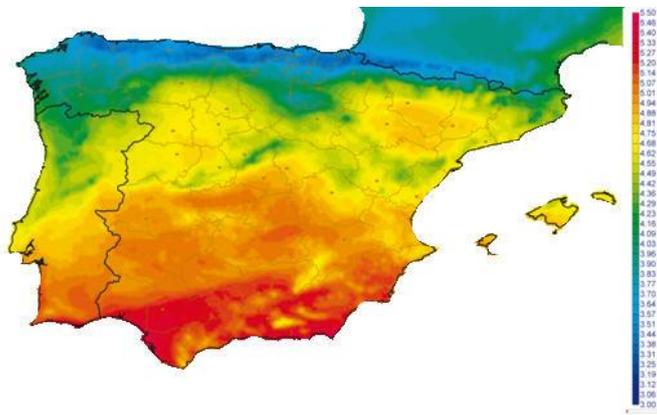


Figura 4.7: Irradiación solar media en España (Fuente: AEMET)

La localización de la vivienda es en Santillana del Mar, villa situada a orillas del Cantábrico y en el norte de la península ibérica, no siendo un lugar con gran cantidad de radiación solar media anual pero considerada suficiente para instalaciones fotovoltaicas de carácter residencial y pequeña y mediana empresa.

En este caso, aprovechando la cubierta plana que abarcará toda la vivienda se construirá una estructura metálica que albergue los paneles cuya orientación e inclinación serán indicadas más adelante.

4.5.1.2 Estudio de sombras

Las sombras representan un factor crítico en la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos, ya que son una de las principales causas de reducción en la generación de energía. Las sombras permanentes pueden provocar la formación de *hot spots* o puntos calientes, es decir, áreas de alta temperatura que disminuyen la eficiencia de los paneles y aceleran su desgaste.[26]

4.5.1.2.1 Distancia mínima entre módulos

Una manera de calcular manualmente las sombras en paneles solares es mediante una fórmula matemática que proporciona la distancia mínima (d_{min}) de separación entre los módulos fotovoltaicos. Se puede calcular mediante el ángulo de latitud del sitio y el ángulo de inclinación del sol respecto al ecuador durante el solsticio de invierno (sombra más crítica), que es de 23.5 grados.[17]

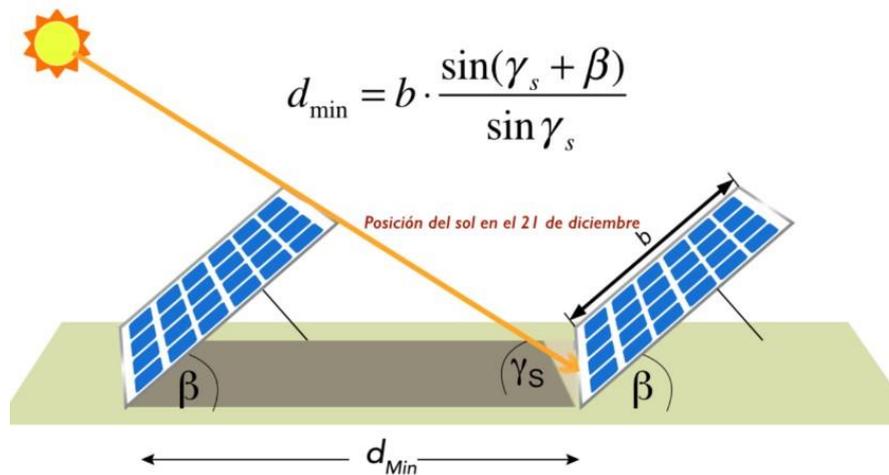


Figura 4.8: Esquema para el cálculo de la distancia mínima entre filas de módulos (Fuente: CCEEA)

Para esto se usan las siguientes fórmulas:

$$\theta_z = \phi + 23,5^\circ$$

$$\gamma_s = 90^\circ - \theta_z$$

$$d_{min} = b * \frac{\sin(\gamma_s + \beta)}{\sin\gamma_s}$$

Donde:

ϕ : Ángulo de latitud del lugar ($^\circ$)

γ_s : Ángulo con sombra más crítica en invierno ($^\circ$)

d_{Min} : Distancia mínima entre filas de módulos (m)

β : Ángulo de inclinación de los módulos fotovoltaicos ($^\circ$)

b: Largo del módulo fotovoltaico (m)



4.5.1.2.2 *Orientación e inclinación de los paneles*

La instalación, como ya se ha comentado anteriormente, está situada en el hemisferio norte, por lo que la orientación óptima será al sur ($\alpha=0^\circ$) o con una pequeña variación hacia el SE O al SO. La inclinación de los paneles, β , depende de la latitud del lugar y su radiación. Se buscará la inclinación óptima para el mes con menos radiación. La inclinación normalmente tiene que ser de más de 20° para evitar la suciedad acumulada. En la Península Ibérica este ángulo suele estar entre los 20° y 70° . En este caso se analizarán distintas inclinaciones mediante el programa PVGIS.[18]

4.5.2 Selección de equipos

A partir de las características específicas de cada uno de los equipos de la instalación en estudio y de la demanda energética, se dimensionará y comprobará la compatibilidad eléctrica entre los módulos y el inversor elegido en la instalación. Además, también se calculará la sección necesaria para el cableado. Asimismo, se calculará el número de módulos y su conexión.

4.5.2.1 *Datos de partida*

4.5.2.1.1 *Efecto de la temperatura en la eficiencia de los módulos*

Cuando una celda fotovoltaica es expuesta a radiación solar, los fotones son absorbidos por la unión de semiconductores tipo P-N, lo que genera una diferencia de potencial a través de la unión. Esto provoca el movimiento de portadores de carga dando como resultado una corriente eléctrica.

Diversos estudios sobre el rendimiento de las celdas fotovoltaicas han confirmado que la temperatura de operación de la superficie es un factor crítico en la eficiencia del proceso de conversión de energía solar. Temperaturas elevadas en el ambiente como en la superficie del panel fotovoltaico, pueden inducir un sobrecalentamiento que, a su vez, disminuye significativamente su eficiencia. [19]



La eficiencia del módulo respecto a la temperatura se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\eta = 1 + \gamma * (\theta - \theta_{STC})$$

Donde,

η : Eficiencia del módulo con respecto a las condiciones estándar

γ : Coeficiente de pérdidas de potencia, en por unidad/°C (-0,0025u/°C)

θ : Temperatura del módulo (°C)

θ_{STC} : Temperatura del módulo en condiciones estándar (25°C)

$$\theta = T_{amb} + \left(\frac{NOCT - 20^{\circ}C}{800} * G \right)$$

Donde,

T_{mod} : Temperatura del módulo (°C), también llamado “ θ ” de ahora en adelante

T_{amb} : Temperatura ambiente diurna (°C)

NOCT: Temperatura de operación nominal de la célula) (°C)

G: Irradiancia (W/m²)

4.5.2.1.2 Potencia fotovoltaica a instalar

Conocida la demanda energética, se procede a estimar la potencia a instalar. No se tiene un registro exacto del consumo mensual ya que es un proyecto de nueva construcción, por lo que la estimación de consumo hecha en el apartado 5.1 se usa para todos los meses salvo en invierno que el consumo aumenta 2 kWh debido al funcionamiento de la bomba de calor geotérmica. Las fórmulas usadas para calcular esto son:

- kWh/día solar = potencia instalación (kW) · 0,90 · HSP (h)/día
- kWh/día total: Se estimará una demanda de 15kWh/día para los meses de invierno por el uso de la calefacción y de 13kWh/día el resto del año.
- Autoconsumo (%) = [(kWh/día solar) / (kWh/día total)] · 100 [26]



4.5.2.2 Módulos fotovoltaicos

Una vez conocido el consumo energético de la vivienda, se procede a seleccionar los paneles fotovoltaicos más adecuados para nuestra instalación mediante las siguientes fórmulas:

$$N_T \geq \frac{P_{MPG}}{P_{MP}}$$

$$N_S \leq \frac{U_{MPG}}{U_{MP}}$$

$$N_P = \frac{N_T}{N_S}$$

Donde:

[26]

N_T : Número total de módulos

N_S : Número de módulos conectados en serie

N_P : Número de módulos conectados en paralelo

P_{MPG} : Potencia máxima del generador (W)

P_{MP} : Potencia máxima del módulo (W)

U_{MPG} : Tensión máxima del generador (V)

U_{MP} : Tensión máxima del módulo (V)

4.5.2.3 Inversor

Una vez se ha calculado la potencia pico de los paneles a instalar, se debe elegir y dimensionar el inversor, encargado de convertir y sincronizar la energía. Este se elegirá lo más próximo a la potencia teórica producida por la instalación (4kW) y se usará como comprobante el factor de sobredimensionado (F_S), que se calcula dividiendo la máxima potencia producida en condiciones ideales por los paneles entre la potencia nominal del inversor:

$$F_S = \frac{P_{MPG}}{P_{nominal}}$$

De esta forma se puede comprobar si se produce o no el efecto de recorte (conocido como "clipping") que ocurre cuando el inversor no puede procesar toda la energía generada por los paneles.



4.5.2.4 Cableado

Al seleccionar el tipo de cableado para una instalación solar, es crucial tener en cuenta tanto la durabilidad como la seguridad que proporcionan. Una adecuada selección de cable favorece un óptimo rendimiento de la instalación, previniendo caídas de tensión o aumentos excesivos de temperatura..

Para calcular las secciones de los cables, el Reglamento Electrónico de Baja Tensión(REBT), establece dos condiciones para tener en cuenta:

La primera impone no superar la intensidad máxima admisible establecida por el REBT para que el cable no tenga mayor temperatura que la que soporta el material que lo recubre. Para calcular la intensidad se usa la siguiente fórmula:

$$I_B = \frac{P}{V * \cos\phi}$$

Donde,

P: potencia máxima del inversor

V: Tensión de la instalación

Coseno de fi: específico del inversor

Tabla 4 9: Intensidades admisibles para conductores de cobre, no enterrados y temperatura ambiente 40°.

Método de instalación*	Número de conductores cargados y tipo de aislamiento												
		3x PVC	2x PVC		3x XLPE	2x XLPE							
A1													
A2	3x PVC	2x PVC		3x XLPE	2x XLPE								
B1				3x PVC	2x PVC		3x XLPE		2x XLPE				
B2			3x PVC	2x PVC		3x XLPE	2x XLPE						
C					3x PVC		2x PVC	3x XLPE		2x XLPE			
E						3x PVC		2x PVC	3x XLPE		2x XLPE		
F							3x PVC		2x PVC	3x XLPE		2x XLPE	
Sección mm ² COBRE	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	16,5	19	20	21	24	--	
2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	23	26	26,5	29	33	--	
4	20	21	23	24	27	30	31	34	36	38	45	--	
6	25	27	30	32	36	37	40	44	46	49	57	--	
10	34	37	40	44	50	52	54	60	65	68	76	--	
16	45	49	54	59	66	70	73	81	87	91	105	--	
25	59	64	70	77	84	88	95	103	110	116	123	140	
35	--	77	86	96	104	110	119	127	137	144	154	174	
50	--	94	103	117	125	133	145	155	167	175	188	210	
70	--	--	--	149	160	171	185	199	214	224	244	269	
95	--	--	--	180	194	207	224	241	259	271	296	327	
120	--	--	--	208	225	240	260	280	301	314	348	380	
150	--	--	--	236	260	278	299	322	343	363	404	438	
185	--	--	--	268	297	317	341	368	391	415	464	500	
240	--	--	--	315	350	374	401	435	468	490	552	590	
300	--	--	--	361	401	430	461	500	538	563	638	679	
400	--	--	--	431	480	515	552	600	645	674	770	812	
500	--	--	--	493	551	592	633	687	741	774	889	931	
630	--	--	--	565	632	681	728	790	853	890	1028	1071	

Se indican como 3x los circuitos trifásicos y como 2x los monofásicos.
A efecto de las intensidades admisibles los cables con aislamiento termoplástico a base de poliolefina (Z1) son equivalentes a los cables con aislamiento de policloruro de vinilo (V).



La segunda condición consiste en no superar la máxima caída de tensión (diferencia de tensión entre el origen y el extremo de cada tramo). Estos valores los impone el REBT y son distintos para cada tramo de la instalación. La caída de tensión recomendada en el tramo entre el inversor y las protecciones no debe exceder el 1,5%.

La caída de tensión se obtiene mediante la ecuación:

$$\%V = \frac{200 * P * L}{C * S * V^2}$$

Donde,

P: Potencia del inversor

L: Longitud de la línea

C:conductividad del cobre

S: sección

V: tensión instalación

4.5.2.5 Protecciones

En cuanto a las protecciones, es importante considerar dos partes claramente diferenciadas: por un lado, las protecciones en corriente continua, que van desde los paneles solares hasta la entrada del inversor; y por otro, las protecciones de corriente alterna, que van desde la salida del inversor hasta la instalación de la vivienda y la bomba de calor geotérmica.



4.6 ANÁLISIS ECONÓMICO

En este apartado se realizará un análisis económico para estudiar la viabilidad de la instalación. Para ello, es fundamental apoyarse en el presupuesto y la rentabilidad que se calculará mediante el VAN (Valor Actual Neto) y la TIR (Tasa Interna de Rentabilidad).

4.6.1 Rentabilidad: VAN y TIR

Para evaluar la rentabilidad de un proyecto, es importante conocer previamente las probabilidades de éxito, los beneficios que generará y la viabilidad de lo que se pretende acometer. Para esto, disponemos de dos índices financieros fundamentales: el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Estos indicadores nos facilitan la evaluación del proyecto de inversión con precisión, disipando las dudas comunes a través de información confiable.[20]

- Valor actual neto: El VAN es un indicador financiero que implica ajustar los ingresos y egresos de un proyecto o inversión para determinar la ganancia o la pérdida de esta inversión. Para esto, se utilizará este método en la inversión actual, y a través de una hoja de cálculo Excel se calculará el rendimiento anual de la inversión. Se usará un interés del 3% que se considera de riesgo moderado para inversiones de este tipo. También se considera la inversión inicial de la instalación y un período de estudio de 30 años.
- Tasa interna de retorno: La TIR se define como la tasa de interés o rentabilidad que proporciona una inversión, es decir, el porcentaje de ganancia o pérdida asociado a una inversión. No obstante, esa fiabilidad se puede ver reducida al comparar la rentabilidad de dos proyectos diferentes, ya que no tiene en cuenta las diferencias de magnitudes entre ambos.



5. RESULTADOS

5.1 ANÁLISIS DE DEMANDA ENERGÉTICA

Tabla 5.1: Consumo aproximado de la vivienda

APARATOS ELÉCTRICOS	POTENCIA (W)	UDS	POTENCIA TOTAL (W)	HORAS/DÍA	WH/DÍA
HABITACIÓN 1					
Plafón led	48	2	96	1.5	144
Flexo led	35	1	35	2	70
TV	48	1	48	2	96
Ordenador	350	1	350	3	1050
HABITACIÓN 2					
Plafón led	48	2	96	1.5	144
Flexo led	35	1	35	2	70
ORDENADOR	350	1	350	3	1050
HABITACIÓN 3					
Plafón led	48	2	96	1.5	144
Flexo led	35	1	35	2	70
TV	48	1	48	2	96
Plafón led	48	2	96	1.5	144
HABITACIÓN 4					
TV	65	1	65	2	130
Plafón led	48	2	96	3	288
COCINA					
Plafón muy bajo consumo	13	8	104	4	416
Extractor	65	1	65	1	65
Microondas	1000	1	1000	0.05	50
Horno A+++	1200	1	1200	2	2400
Lavavajillas A+++	950	1	950	2	1900
Nevera A+++	450	1	450	3	1350
Bombilla led	60	3	180	5	900
TV	70	1	70	4	280
Router	8	1	8	24	192
PASILLO					
Plafón led	48	3	144	0.2	30
BAÑO 1					
Bombilla led	30	3	90	1.5	135
BAÑO 2					
Plafón led	48	2	96	3	288
BAÑO 3					
Plafón led	48	2	96	0.5	48
Secador	2200	1	2200	0.1	220
COMEDOR					
Bombilla led	30	3	90	1	90



GARAJE					
Congelador A++	150	1	150	3	450
Foco halógeno	120	1	120	0.5	60
Lavadora A++	400	1	400	0.6	240
Secadora A++	350	1	350	0.6	210
TERRAZA					
Plafón led	48	2	96	3	288
				Total W/día	13108

Además, mediante el programa CE3X se ha determinado estas demandas (calefacción + ACS):

- Demanda energética de calefacción y ACS (kWh/m² año): 43,1
- Emisiones de CO₂(kgCO₂/m² año): 23,8

Con estos datos y aplicando un coeficiente de simultaneidad del 80% a los 13,1 kWh/día obtenemos que:

- Demanda energética total (kWh/día) \approx 12Kwh/día



5.2 ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA MEDIANTE SOFTWARE

Para realizar el análisis de eficiencia energética se utiliza el software CE3X, Al ejecutar el programa, aparecerá una primera ventana donde se selecciona el tipo de edificio para la certificación energética, en el caso de estudio, residencial.

Certificación energética simplificada de edificios existentes



Figura 5.1: Primera ventana emergente (Fuente:CE3X)

Una vez seleccionado, hay que rellenar los datos administrativos ya que esta simulación será lo más similar posible a una oficial. Los campos a rellenar son: Localización e identificación del edificio, datos del cliente y datos del técnico certificador.

Los siguientes datos que rellenar son respecto a la definición del edificio:

Datos generales

Normativa vigente	CTE 2013	Año construcción	2024
Tipo de edificio	Unifamiliar		
Provincia/Ciudad autónoma	Cantabria	Localidad	Otro
			Santillana del Mar
		Zona climática	HE-1 C1 HE-4 I

Definición edificio

Superficie útil habitable	142	m ²
Altura libre de planta	2.7	m
Número de plantas habitables	2	
Ventilación del inmueble	0.63	ren/h
Demanda diaria de ACS	140	l/día
Masa de las particiones internas	Media	

Se ha ensayado la estanqueidad del edificio

Imagen edificio Plano situación

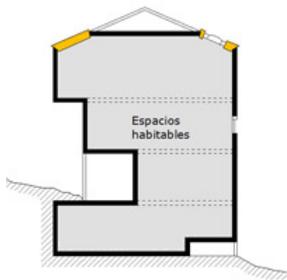
Figura 5.2: Datos generales y definición del edificio (Fuente: CE3X)



La siguiente pestaña disponible aborda la envolvente térmica del edificio. En este punto, es necesario determinar los componentes de la envolvente que deseamos incluir, como la cubierta, muros y suelos:

Envolvente térmica del edificio

Cubierta Enterrada
 Muro En contacto con el aire
 Suelo
 Partición interior
 Hueco/Lucernario
 Puente térmico



Cubierta en contacto con el aire

Nombre: Zona:

Dimensiones

Superficie: m²
Longitud: m
Anchura: m

Características

Patrón de sombras:

Parámetros característicos del cerramiento

Propiedades térmicas Transmitancia térmica: W/m²K

Transmitancia térmica W/m²K Masa/m² kg/m²

Librería cerramientos:

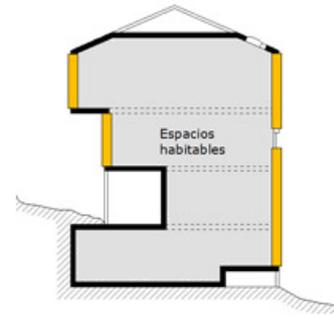
Figura 5.3: Envolvente térmica cubierta (Fuente: CE3X)



Las características térmicas de la cubierta como del muro de la fachada se definirán en el apartado 4.4.1 “Cargas Térmicas”

Envolvente térmica del edificio

- Cubierta
- Muro
 - En contacto con el terreno
 - De fachada
 - Medianería
- Suelo
- Partición interior
- Hueco/Lucernario
- Puente térmico



Muro de fachada

Nombre	Muro de fachada	Zona	Edificio Objeto
Dimensiones		Características	
Superficie	18.9 m ²	Orientación	SO
Longitud	7 m	Patrón de sombras	Sin patrón
Altura	2.7 m		
Parámetros característicos del cerramiento			
Propiedades térmicas	Conocidas	Transmitancia térmica	1.08 W/m ² K
<input type="radio"/> Transmitancia térmica		Masa/m ²	
<input checked="" type="radio"/> Librería cerramientos	muro 1		

Figura 5.4: Envlovente térmica muro SO (Fuente: CE3X)



En el caso de los muros de fachada hay que definir los 4 con sus correspondientes orientaciones que son SO, NO, NE Y SE.

Se hará lo mismo con el suelo en contacto con el terreno:

Suelo en contacto con el terreno

Nombre: Zona:

Dimensiones

Superficie: m²
Longitud: m
Anchura: m

Características

Profundidad: Menor o igual que 0.5 m
 Mayor que 0.5 m

Parámetros característicos del cerramiento

Propiedades térmicas: Transmitancia térmica: W/m²K

Perímetro: m

Tiene aislamiento térmico

Características del aislamiento térmico

Tipo de aislamiento:
Definir Ra:
 Espesor aislamiento: m
 Ra: m²K/W

Figura 5.5: Envoltente térmica suelo (Fuente: CE3X)

El último elemento de la envoltente térmica a definir será el hueco/lucernario que en este caso son ventanas de PVC.

Hueco/Lucernario

Nombre: Cerramiento asociado: Orientación:

Dimensiones

Longitud: m
Altura: m
Multiplicador:
Superficie: m²
Porcentaje de marco: %

Características

Permeabilidad del hueco: m³/hm²
Absortividad del marco:
 Dispositivo de protección solar:
Patrón de sombras:
 Doble ventana

Parámetros característicos del hueco

Propiedades térmicas:

Tipo de vidrio: U vidrio: W/m²K
Tipo de marco: g vidrio:
 U marco: W/m²K

Figura 5.6: Envoltente térmica ventana (Fuente: CE3X)



Finalmente, una vez se hayan completado los datos generales y los detalles relacionados con la envolvente térmica, se accede a la última de las pestañas antes de obtener la calificación energética. Esta pestaña se titula "Instalaciones del edificio" y en ella definiremos los equipos presentes en el edificio para la climatización y producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS), seleccionando equipo mixto. Se aplica en un primer momento una caldera de gasóleo, con el objetivo de comparar posteriormente las mejoras conseguidas con la geotermia y el apoyo fotovoltaico.

Equipo mixto de calefacción y ACS

Nombre	Calefacción y ACS	Zona	Edificio Objeto
Características		Demanda cubierta	
Tipo de generador	Caldera Estándar	ACS	Calefacción
Tipo de combustible	Gas Natural	Superficie (m ²)	142.0
		Porcentaje (%)	100
Rendimiento medio estacional			
Rendimiento estacional	Conocido (Ensayado/justificado)		
A.C.S	Rendimiento medio estacional	85	%
Calefacción	Rendimiento medio estacional	90	%
<input checked="" type="checkbox"/> Con Acumulación			
Valor UA	Estimado	UA	1.8 W/K
Volumen de un depósito	350 l	Multiplicador	1
Tipo de aislamiento	Poliuretano Rígido	Espesor	0.033 m
		Tª alta	80 °C
		Tª baja	60 °C

Figura 5.7: Instalaciones del edificio (Fuente: CE3X)

Una vez que se hayan llevado a cabo estos pasos, el programa exhibirá la calificación energética correspondiente al edificio según la normativa actual:

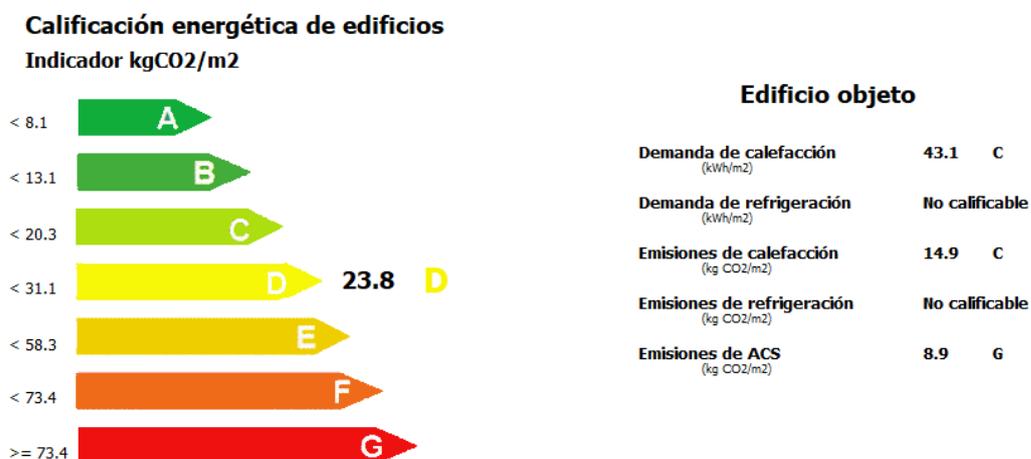


Figura 5.8: Calificación obtenida (Fuente: CE3X)



5.3 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA GEOTÉRMICO

5.3.1 Cargas térmicas de calefacción

Para calcular las cargas se procede a utilizar una hoja Excel proporcionada por ATECYR y desarrollada con ayuda de la Universidad politécnica de Valencia. En ella se deben introducir todos los datos ya conocidos:

- Condiciones interiores.
- Condiciones exteriores.
- Resistencia térmica y coeficiente global de transmitancia térmica de la envolvente térmica, así como dimensiones de esta.



CALEFACCION		Municipic	Santillana del Mar	asn	100	Pt(Pa)	100129	ZC.HE1	C1				
Mes calefac.	Enero	Ts.ext. d	2,6	Hr(%)	90	OMD °C	3,1	Tm.mes	9,9	DTCiu	0	difusa%	75
Est.referenci	27 Cantabria (Parayas aerc	Latitud °	43,417	Long.Oc	3,8	Tm.anu	14,6	NPer	1/99	asn	6		
Mes refriger.	Julio	Ts.ext. d	25,6	Th °C	20,5	OMD °C	12,3	Tm.mes	19,7	DTCiu	0		
Mes cálculo	↑ Dia	21	hora.sol	15	Tipo atmósfera	Estánda	Reflexión alrededores	Césped					
Exteriores	Temp. °C	5,02	Hr(%)	75,9	W(kg/kg)	0,0041							
Interiores	Temp. °C	22,00	Hr(%)	50,0	W(kg/kg)	#####						Hora max.sen	7
DATOS ZONA		Super.(m²)	Vol.(m3)	Zona	Tipo	Alfombr %	Acrit	Aplicación	IDA	Control			
Nombre	Generico	100	300	Exterior	Medio	SA	22	Residencial	IDA2	Cte_ocup.			
OPACOS ext A. Neta(Bruta(m² U(W/m2K) color coef.abs												Qsen (W Qlat (W	
Techo	70,0	70,0	1,01	Medio	0,8							-1297	0
N-Muro	0,0	0,0	1,08	Medio	0,8							0	0
NE-Muro	13,9	18,9	0,33	Medio	0,8							-85	0
E-Muro	0,0	0,0	0,5	Medio	0,8							0	0
SE-Muro	22,0	27,0	0,33	Medio	0,8							-498	0
S-Muro	0,0	0,0	0,5	Medio	0,8							0	0
SO-Muro	13,9	18,9	0,33	Medio	0,8							-85	0
O-Muro	0,0	0,0	0,5	Medio	0,8							0	0
NO-Muro	22,0	27,0	0,33	Medio	0,8							-135	0
Suelo	70,0	70,0	0,51									-661	0
OPACOS otros		Cont.ext	Totro(°C z(m)	b	Ais.pe	D(m)	k(W/n e(m)						
Otro Local 1	0,0	0,0	1,5	Medio	13,5	0,5						0	0
Otro Local 2	0,0	0,0	1,5	Medio	13,5	0,5						0	0
Muro Terreno	0,0	0,0	1									0	0
Suelo Terrenc	0,0	0,0	1									0	0
S.Vacio sanit	0,0	0,0	1,0									0	0
Puentes térmicos otros	0,2					39						0	0
Puentes térmicos ventanas	0,2					36						0	0
												-2762	0
VENTANAS		ancho(r	alto(m)	c(m)	d(m)	e(m)	f(m)	g(m)	m(m)	n(m)	Qsen (W Qlat (W		
Tipo	2,50	2,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Sin accesorios		
Somb.1	Ucristal		Umarco	f	f	Pos.	%	Fsombra (0 sol, 1 sombra)					
Area (m2	g	(W/m2K)	(W/m2K)	FM	Uacce	Facce	Acce	Activo	aleros	Otros edif.			
Techo	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1	Ext	100	0	0	0	0
N-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1	Ext	100	1	0	0	0
NE-Muro	5,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1	Ext	100	1	0	-106	0
E-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1	Ext	100	1	0	0	0
SE-Muro	5,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1	Ext	100	1	0	-106	0
S-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1	Ext	100	0,05	0	0	0
SO-Muro	5,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1	Ext	100	0,01	0	-106	0
O-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1	Ext	100	0,06	0	0	0
NO-Muro	5,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1	Ext	100	1	0	-106	0
Somb.2	2,50	1,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Sin accesorios		
Techo	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1,00	Ext	100	0	0	0	0
N-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1,00	Ext	100	1	0	0	0
NE-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1,00	Ext	100	1	0	0	0
E-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1,00	Ext	100	1	0	0	0
SE-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1,00	Ext	100	1	0	0	0
S-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1,00	Ext	100	0,07	0	0	0
SO-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1,00	Ext	100	0,03	0	0	0
O-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1,00	Ext	100	0,08	0	0	0
NO-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1,00	Ext	100	1	0	0	0
												-424	0
INTERNAS		Frac.rac Calef.(% W/m2	% sen	Reac/Transf.	Pot. Maxima (W	Sen(W	Lat(W)	Qsen (W Qlat (W					
LUCES	0,8	10	5	Si		500		19 0					
EQUIPOS	0,1	10	3	100		300	0	15 0					
sexo	Calef.(% m2/ocup	Actividad	qs/per	ql/per	n.per.								
OCUPANTES	Media	1	10	Sentado muy ligero (oficir	68,4	55,6	7	6	0,1	3 3			
VENTILACIO		450	Exterior				Ts(°C)	5,02	W(kg)	0,0041	-2680 -1632		
INFILTRACIO		0					Ts(°C)	5,02	W(kg)	0,0041	0 0		
MAYORAC.% Sensibk		10	Latente	5	W/m2	-81,22	Total (W)	-8122	FCS	0,789	-6411 -1711		
hora max.sen	7				W/m2	-94,65	Total (W)	-9465	FCS	0,818	-7738 -1727		



De ella, se obtiene que como resultado de carga total a la hora de cálculo es -8122W y el valor máximo en la hora 7 es -9465W.

En la siguiente gráfica podemos ver representadas las cargas sensibles de la vivienda según la aportación de cada una.

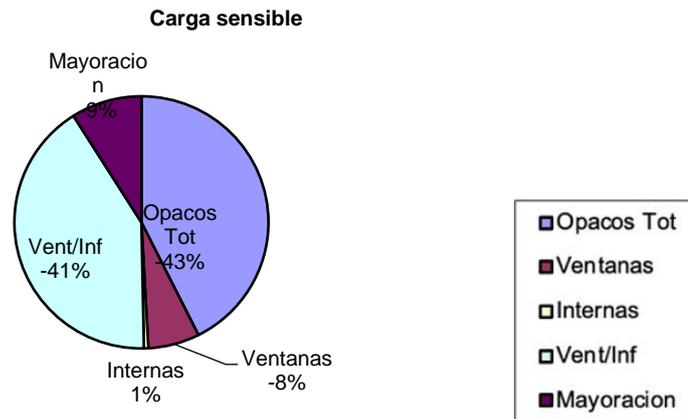


Figura 5.9: Cargas térmicas de calefacción (Fuente: ATECYR)

5.3.2 Selección de equipos

5.3.2.1 Sistema de captación

5.3.2.1.1 Configuración del intercambiador enterrado

Se elige la configuración vertical con tubos en doble U con cuatro vías porque es la más común en España. Las sondas geotérmicas están formadas por tubos verticales de polietileno de alta densidad PE-100, que soporta una presión de 16 bar, y un pie de sonda con forma de U fabricada también en PE-100, con la misma resistencia a la presión que los tubos. Las sondas disponibles son de 4 tubos de 32 o 40 mm de ancho.

SONDA VERTICAL GEOTERMIA PE-100 DOBLE						
Código	Nº Tubos	Ø Tubo (mm)	Espesor (mm)	Long. sonda (m)	Peso (Kg)	
246005	4	32	2,9	80	87	
246006	4	32	2,9	100	109	
246007	4	32	2,9	125	136	
246008	4	32	2,9	150	163	
246009	4	40	3,7	80	136	
246010	4	40	3,7	100	168	
246011	4	40	3,7	125	210	
246012	4	40	3,7	150	252	

Figura 5.10: Sonda vertical geotermia PE-100 DOBLE (Fuente: Ferroterm, s.f.)



EXTRACCIÓN TÉRMICA CAPTACIÓN VERTICAL	HORAS DE FUNCIONAMIENTO POR AÑO	
TIPO DE SUELO - VALORES GENERALES	1.800 H	2.400 H
Inapropiado. Sedimento seco. Conductividad $\lambda < 1,5$ W/mK	25 W/m	20 W/m
Normal. Roca consolidada. Sedimento saturado de agua. Conductividad $\lambda < 3,0$ W/mK	60 W/m	50 W/m
Roca consolidada. Elevada conductividad térmica. Conductividad $\lambda > 3,0$ W/mK	84 W/m	70 W/m
TIPO DE SUELO		
Gravilla, arena. Seco.	<25 W/m	<20 W/m
Gravilla, arena. Con agua.	65-80 W/m	55-85 W/m
Zona freática a través de gravilla y arena.	80-100 W/m	55-85 W/m
Arcilla, limo. Húmedo.	35-50 W/m	30-40 W/m
Piedra caliza	55-70 W/m	45-60 W/m
Piedra arenisca	65-80 W/m	55-65 W/m
Granito	65-85 W/m	55-70 W/m
Basalto	40-65 W/m	35-55 W/m
Gneis	70-85 W/m	60-70 W/m

Figura 5.11: Extracción vertical térmica de calor (Fuente: Ferroterm, s.f.)

5.3.2.1.2 Fluido caloportador

Se ha elegido un fluido caloportador con una mezcla acuosa al 30 % m/m de etilenglicol.

Tabla 5.3: Propiedades del fluido caloportador.

COMPOSICIÓN	Agua 70% + Etilenglicol 30%
Temperatura de congelación	-12.8 °C
Temperatura de ebullición	102 °C
Densidad (20 °C)	1046 kg/m ³
Calor específico (20 °C)	3672 J/kg·K
Conductividad térmica (20 °C)	0,48 W/m·K
Viscosidad dinámica (20 °C)	0,001428 Kg/m·s



5.3.2.1.3 Profundidad de sondeo

La longitud del intercambiador de calor enterrado se puede determinar para calefacción mediante la siguiente fórmula:

$$L_{calefacción} = \frac{Q_{calefacción} * \frac{COP - 1}{COP} * (R_P + R_S * F_{calefacción})}{T_L - T_{MIN}}$$

[25]

– Temperatura mínima tierra(TL):

$$TL = T_M - A_s * e^{(-x_s * \sqrt{\frac{\pi}{365 * \alpha}})}$$

As: Oscilación de la temperatura superficial

TM: Temperatura media anual del lugar

Xs: Profundidad

La oscilación de la temperatura superficial se puede asumir nula para sistemas verticales, debido a que las fluctuaciones diarias de la temperatura con la profundidad dejan de apreciarse después de 8 metros. Por tanto, la temperatura máxima y mínima del suelo son iguales y su valor es igual a la temperatura media anual del lugar (TM).

Se considera que la oscilación de la temperatura superficial es nula para sistemas verticales, ya que las variaciones diarias de temperatura desaparecen después de 8 metros de profundidad. Por lo tanto, la temperatura más alta y más baja del suelo son las mismas coincidiendo así con la temperatura media anual del lugar (TM).[25]

En este caso:

$$TL = TH = TM = 13,7^{\circ}\text{C}$$



– **Temperatura mínima de entrada del fluido a la bomba (Tmin):**

El fluido geotérmico intercambia calor en el evaporador durante el modo de calefacción en invierno y en el condensador durante el modo de refrigeración en verano, aprovechando el gradiente de temperatura entre el fluido geotérmico y el fluido del circuito de la bomba de calor.

La bomba de calor escogida (ecoGEO+ 3-12) trabaja con temperaturas en el evaporador en invierno entre 7°C y 2°C, siendo:

$$T_{min} = 7^{\circ}C$$

– **Resistencia de los tubos al flujo del calor:**

$$R_p = \frac{1}{2 * \pi * K_p} * \ln\left(\frac{D_{ext}}{D_{int}}\right)$$

Siendo,

Dext: Diámetro exterior de los tubos

Dint: Diámetro interior de los tubos

Kp: conductividad térmica del material de los tubos: 0,35 W/m·K

Por tanto:

$$R_p = 0,045 \text{ m. K/W}$$

– **Resistencia de la tierra:**

La resistencia de la tierra (Rs) es la inversa de la conductividad térmica del terreno. Conociendo la composición del terreno de la zona se puede determinar su conductividad térmica. Tal y como está explicado en el epígrafe 4.1.4, el suelo de la zona donde se encuentra la vivienda corresponde principalmente a margas, arenas y gravas con una conductividad térmica de 2,31 W/mK , por lo tanto la resistencia de la tierra es:

$$R_s = 0,43 \text{ m. K/W}$$



- **Factor de utilización invierno:**

$$FU = \frac{\text{Total horas funcionamiento}}{\text{Total horas invierno}}$$

$$FU = \frac{500}{2160} = 0,231$$

- **COP: 4,6**

Por lo tanto,

$$L_{calefacción} = \frac{9500 * \frac{4,6 - 1}{4,6} * (0,045 + 0,43 * 0,231)}{13,7 - 7} = 160,16m$$

Se tienen tubos en doble U por lo tanto se realizarán **dos perforaciones de 40m de profundidad** y 150mm de diámetro obteniendo así la longitud de intercambio requerida.

5.3.2.2 Suelo radiante

Cada estancia de la vivienda tendrá su propio circuito independiente para poder regular su temperatura de forma individual. La longitud de cada circuito se determina de la siguiente manera:

$$L = \frac{A}{e}$$

Donde:

- L: Longitud del circuito, [m].
- A: Superficie de la estancia a climatizar, [m²].
- e: Distancia entre tubos, [m]. En espiral será un paso de 15 cm.



Tabla 5.4: Longitud de tubo de suelo radiante

ESTANCIA	SUPERFICIE(m ²)	LONGITUD(m)
Distribuidor	13,92	92,80
Salón	33,93	226,20
Dormitorio 1	16,10	107,33
Cocina	20,63	137,53
Baño 1	3,58	23,87
Distribuidor	6,92	46,13
Baño 2	3,00	20,00
Baño 3	4,55	30,33
Dormitorio 2	13,93	92,87
Dormitorio 3	10,41	69,40
Dormitorio 4	10,47	69,80
TOTAL	137,45	916,27

5.3.2.3 Bomba de calor

La bomba de calor geotérmica se debe elegir de manera que sea capaz de abastecer los picos máximos de demanda térmica calculados en el apartado 5.3.1. Esta demanda es de 9,5kW para calefacción. El modelo elegido es la bomba de calor geotérmica ECOGEO C1 3-12kW.

Tabla 5.5: Características de la bomba seleccionada

Pot. máxima de calefacción	12kW
COP	4,6
EER	5,2
Fluido circulante	R410-a
Caudal intercambiador interior	2500 l/h
Caudal intercambiador exterior	2500 l/h
Depósito ACS	170l



5.4 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTVOLTAICO

5.4.1 Evaluación del recurso solar

5.4.1.1 Datos climatológicos: irradiación en el emplazamiento

Para saber la irradiación solar del emplazamiento de la vivienda se ha recurrido a la página web PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) Esta plataforma facilita la estimación de la producción energética media tanto mensual como anual de un sistema fotovoltaico conectado a la red. Los cálculos tienen en cuenta la radiación solar, la velocidad del viento y la temperatura. Asimismo, se puede obtener la radiación solar (en kWh/m²) utilizando el ángulo ideal para maximizar la radiación recibida durante el año.

Con los datos de latitud y longitud de la instalación se ha obtenido los valores de irradiación global horizontal mensual y diaria.

Tabla 5.6: irradiación global horizontal mensual y diaria

MES	1	2	3	4	5	6
Hd*	2.61	3.55	4.34	4.92	5.03	4.94
Hm*	81.04	99.37	134.69	147.52	155.99	148.14

MES	7	8	9	10	11	12
Hd*	5.09	5.08	4.99	4.05	2.87	2.69
Hm*	157.78	157.62	149.57	125.61	86.11	83.51

Hd*: Suma diaria promedio de irradiación global por metro cuadrado recibida por los módulos del sistema dado (kWh/m²/día)

Hm*: Suma mensual promedio de irradiación global por metro cuadrado recibida por los módulos del sistema dado (kWh/m²/mes)



5.4.1.2 Estudio de sombras

5.4.1.2.1 Distancia mínima entre módulos

Para calcular la distancia mínima entre las filas de módulos se usan las siguientes fórmulas:

$$\theta_z = \phi + 23,5^\circ$$

$$\gamma_s = 90^\circ - \theta_z$$

$$d_{min} = b * \frac{\sin(\gamma_s + \beta)}{\sin\gamma_s}$$

Donde:

ϕ : Latitud del lugar ($^\circ$)

γ_s : Ángulo con sombra más crítica en invierno ($^\circ$)

d_{min} : Distancia mínima entre filas de módulos (m)

β : Inclinación de los módulos fotovoltaicos ($^\circ$)

b: Largo del módulo fotovoltaico (m)

Por lo tanto:

$$\theta_z = 45,8 + 23,5^\circ = 69,3^\circ$$

$$\gamma_s = 90^\circ - 69,3 = 20,7^\circ$$

Para poder establecer la distancia mínima se deben conocer las características de los paneles que se van a utilizar, en este caso las del panel RISEN TopCon N de 450W:

Tabla 5.7: Especificaciones técnicas panel solar.

Potencia del panel solar	450w
Eficiencia del panel	22,1%
Tensión máxima potencia	32.44V
Tensión máxima de serie	1500V
Tensión en circuito abierto	39.05V
Corriente en cortocircuito	14.66A
Corriente en potencia nominal	14.00A
Coefficiente de pérdidas de tensión(β)	-0.25%/°C
Dimensiones del panel solar	1800 × 1134 × 30 mm
Temperatura operacional	-40°C a 85°C
Peso	22Kg



La distancia b de la ecuación puede ser entonces $b= 1800\text{mm}$ si la colocación del panel es vertical y $b= 1134$ si es horizontal. También puede variar la inclinación (β) de los paneles. A continuación, se analizan distintas opciones:

Tabla 5.8: Distancias mínimas entre filas de módulos

Disposición	B (m)	$d_{\text{Mín}}$ (m)		
		30°	50°	70°
Vertical	1,8	3,95	4,80	5,1
Horizontal	1,13	2,47	3,01	3,2

5.4.1.2.2 Orientación e inclinación de los paneles

Para determinar el ángulo óptimo de inclinación de los módulos, se analizarán los datos de producción del mes con menor radiación para así garantizar una producción mínima en el invierno. En este caso el mes de menor radiación es Enero, por lo tanto se estudian los ángulos 30°, 50° y 70° para dicho mes, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 5.9: irradiación global inclinada media (kWh/m^2) en Enero.

β (°)	H_m (mensual)	H_d (diaria)
30	76,24	2,29
50	86,97	2,63
70	89,05	2,73

En la tabla anterior se observa que la máxima radiación media para el mes de menor radiación (Enero) se obtiene con una inclinación de **70°**.

Como se van a colocar en la cubierta y esta es plana, se recurre a una estructura de aluminio para dar la inclinación requerida además de servir de anclaje. La estructura tendrá una apariencia similar a la de la siguiente imagen.



Figura 5.12: Estructura SUNFER REGULABLE (Fuente: Mundosolar)

La orientación óptima para posicionar los módulos es hacia el sur (ángulo azimutal de 180°). Si alineamos los módulos en esta dirección se obtendrá la mayor irradiación solar posible en el día, lo que permitirá que el rendimiento del sistema sea ideal.



Figura 5 13: Diseño de los paneles realizado en EasySolar.com



5.4.2 Selección de equipos

5.4.2.1 Datos de partida

5.4.2.1.1 Efecto de la temperatura en la eficiencia de los módulos

La eficiencia del módulo respecto a la temperatura se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\eta = 1 + \gamma * (\theta - \theta_{STC})$$

Donde,

η : Eficiencia del módulo con respecto a las condiciones estándar

γ : Coeficiente de pérdidas de potencia, en por unidad/°C (-0,0025u/°C)

θ : Temperatura del módulo (°C)

θ_{STC} : Temperatura del módulo en condiciones estándar (25°C)

$$\theta = T_{amb} + \left(\frac{NOCT - 20^{\circ}C}{800} * G \right)$$

Donde,

θ : Temperatura del módulo (°C)

T_{amb} : Temperatura ambiente diurna (°C)

NOCT: Temperatura de operación nominal de la célula (°C)

G: Irradiancia (W/m²)

Mediante estas dos ecuaciones, las irradiancias medias mensuales y la temperatura ambiente promedio (apartado 4.1.3) se obtienen los valores de eficiencia siguientes:



Tabla 5.10: Cálculo de la eficiencia mensual del módulo por efecto de la temperatura

Mes	G(W/m ²)	T _{amb}	T _{mod}	η
01	410.61	11,7	25.2	1.00
02	489.74	12	27.9	0.99
03	527.33	14.5	31.6	0.98
04	522.94	15.9	32.9	0.98
05	527.05	18.2	35.3	0.97
06	517.33	21.3	38.1	0.97
07	598.03	22.9	42.2	0.96
08	648.91	23.5	44.4	0.95
09	678.2	22.2	44.0	0.95
10	557.39	19.6	37.6	0.97
11	415.34	14.5	28.1	0.99
12	427.72	12.7	26.7	1.00

Resultaría así una eficiencia media de 0,98 pero se considera que la suma de pérdida por suciedad, cableado, temperaturas altas, etc que se estima en un 10%, entonces da un factor corrector de **0,88**.

5.4.2.1.2

Potencia fotovoltaica a instalar

- kWh/día solar = potencia instalación (kW) · 0,90 · HSP (h)/día
- kWh/día total: Se estimará una demanda de 15kWh/día para los meses de invierno por el uso de la calefacción y de 13kWh/día el resto del año.
- Autoconsumo (%) = [(kWh/día solar) / (kWh/día total)] · 100



Tabla 5.11: Porcentaje de demanda cubierta con la instalación fotovoltaica.

Mes	kWh/día Solar (4kW)	kWh/día Total	Autoconsumo (%)
01	9.2	15	61.2
02	12.5	15	83.3
03	15.3	15	101.8
04	17.3	13	133.2
05	17.7	13	136.2
06	17.4	13	133.8
07	17.9	13	137.8
08	17.9	13	137.6
09	17.6	13	135.1
10	14.3	13	109.7
11	10.1	13	77.7
12	9.5	15	63.1

Se instalan por lo tanto **4kW**, ya que en invierno cubre gran parte de la demanda y en verano tiene excedente que se vierte a red para obtener una bonificación en la factura eléctrica.

5.4.2.2 Módulos fotovoltaicos

Una vez conocida la potencia a instalar, se obtendrá el número de módulos que será necesario conectar ya sea en serie o en paralelo mediante las siguientes ecuaciones:

$$N_T \geq \frac{P_{MPG}}{P_{MP}}$$

$$N_S \leq \frac{U_{MPG}}{U_{MP}}$$

$$N_P = \frac{N_T}{N_S}$$

Donde:

N_T : Número total de módulos

N_S : Número de módulos conectados en serie

N_P : Número de módulos conectados en paralelo

P_{MPG} : Potencia máxima del generador (W)

P_{MP} : Potencia máxima del módulo (W)



U_{MPG} : Tensión máxima del generador (V)

U_{MP} : Tensión máxima del módulo (V)

Resultando:

$$N_T \geq \frac{4000}{450} = 8,8 = \mathbf{9 \text{ módulos}}$$

$$N_S \leq \frac{1500}{39,05} = 38 \text{ módulos}$$

Por lo tanto, se podrán conectar los 9 módulos en serie.

Una vez calculada la disposición de los módulos, se obtienen las características del generador en condiciones estándar (25°C) mediante las siguientes ecuaciones:

$$U_{MPG} = U_{MP} \cdot N_S$$

$$U_{MPG} = 32,44 \cdot 9 = 292 \text{ V}$$

$$I_{MPG} = I_{MP} \cdot N_P$$

$$I_{MPG} = 13,88 \cdot 1 = 13,88 \text{ A}$$

$$P_{MPG} = P_{MP} \cdot N_P \cdot N_S$$

$$P_{MPG} = 450 \cdot 1 \cdot 9 = 4050 \text{ W}$$

$$U_{OCG} = U_{OC} \cdot N_S$$

$$U_{OCG} = 39,05 \cdot 9 = 351,45 \text{ V}$$

Donde:

U_{MPG} : Tensión del punto de máxima potencia del generador (STC)

U_{MP} : Tensión del punto de máxima potencia del módulo.

I_{MPG} : Corriente del punto de máxima potencia del generador (STC)

I_{MP} : Corriente del punto de máxima potencia del módulo.

P_{MPG} : Potencia del punto de máxima potencia del generador (STC)

P_{MP} : Potencia del punto de máxima potencia del módulo.

U_{OCG} : Tensión de circuito abierto del generador (STC)

U_{OC} : Tensión de circuito abierto del módulo.



Como comprobación de los parámetros anteriores se debe comprobar lo siguiente:

$$U_{OCG} < U_{\text{máx.de serie}}$$

$$U_{OCG, T_{\text{mín}}} < U_{\text{máx.de serie}}$$

$$U_{OCG, T_{\text{mín}}} = N_s \cdot U_{OC} \cdot (1 + \beta_M \cdot (T_{\text{mín}} - 25^\circ\text{C})) = 9 \cdot 39,05 \cdot (1 - 0,0025 \cdot (-40^\circ - 25)) = 408,56 \text{ V}$$

$$U_{OCG} = 351,45 \text{ V}$$

$$408,56 \text{ V} < 1500 \text{ V}$$

$$351,45 \text{ V} < 1500 \text{ V}$$

$$\text{Área total} = 9 \cdot 2,035 = 18 \text{ m}^2$$

5.4.2.3 Inversor

El inversor elegido es el FRONIUS PRIMO 5.0-1 light 5Kw, con las siguientes características:



Figura 5.14: Inversor Fronius Primo (Fuente:Fronius)

Tabla 5.12: Características del Inversor

Tensión máxima de entrada	1000 V
Rango de tensión de operación	180-270 V
Intensidad de entrada máxima por MPPT	22 A
Intensidad de cortocircuito máxima	24 A
Potencia nominal CA	4600 W
Potencia máxima DC	6900 Wp



El Factor de sobredimensionado se calcula dividiendo la máxima potencia producida en condiciones ideales por los paneles entre la potencia nominal del inversor:

$$F_S = \frac{P_{MPG}}{P_{nominal}} = \frac{450 * 9}{4600} = 0,88$$

De esta forma se puede comprobar que nunca se generará el efecto de recorte o “clipping” que se produce cuando los paneles producen más energía que la que puede procesar el inversor.

5.4.2.4 Cableado

5.4.2.4.1 Corriente continua

Es el cableado entre los paneles y el inversor donde la caída de tensión permitida es de un 1%. Una vez conocidas las características del cable se procede a calcular la sección.

En la instalación analizada se utiliza un cable del tipo PV ZZ-F, diseñado específicamente para aplicaciones fotovoltaicas. La conductividad de este tipo de cable depende del material conductor y de la temperatura de operación, y se expresa en S·m/mm².

Tabla 5.13: Conductividad de cables eléctricos según el material.

Material	A 90°C (termoestables)	A 70°C (termoplásticos)
Cobre	44	48
Aluminio	28	31

$$S = \frac{2 * L * I}{C * C_{DT} * V} = \frac{2 * 15 * 14,66}{44 * 0,01 * (32,44 * 9)} = 3,42mm^2$$

Donde:

S: Sección del conductor (mm²)

L: Longitud de la línea: 15 m

I: Corriente por la línea: 14,66 A

C: Conductividad del conductor: 44

Cdt: Caída de tensión: 1%

V: tensión máxima del panel: 32,44 V

Debiendo escoger la sección inmediatamente superior que en este caso es **4mm²**.



5.4.2.4.2 Corriente alterna

Para calcular la sección del cable necesario de la salida del inversor al resto de la instalación se debe calcular primero la intensidad que circulará por el:

$$I_B = \frac{P}{V * \cos\phi} = \frac{4600}{292 * \cos 0,85} = 15,75 A$$

Donde,

P: potencia máxima del inversor

V: Tensión de la instalación

cosφ: específico del inversor

Conociendo la intensidad y sabiendo que el conductor pertenece al grupo B1 (conductores aislados en tubo en montaje superficial o empotrado en obra) se mira en la tabla la sección, que resulta **2,5mm²**.

Tabla 5.14: Intensidades admisibles para conductores de cobre, no enterrados y temperatura ambiente 40°.

Método de instalación*	Número de conductores cargados y tipo de aislamiento											
	3x PVC	2x PVC	3x XLPE	2x XLPE								
A1												
A2	3x PVC	2x PVC		3x XLPE	2x XLPE							
B1				3x PVC	2x PVC		3x XLPE		2x XLPE			
B2			3x PVC	2x PVC		3x XLPE	2x XLPE					
C					3x PVC		2x PVC	3x XLPE		2x XLPE		
E						3x PVC		2x PVC	3x XLPE		2x XLPE	
F							3x PVC		2x PVC	3x XLPE		2x XLPE
Sección mm ² COBRE	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	16,5	19	20	21	24	--
2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	23	26	26,5	29	33	--
4	20	21	23	24	27	30	31	34	36	38	45	--
6	25	27	30	32	36	37	40	44	46	49	57	--
10	34	37	40	44	50	52	54	60	65	68	76	--
16	45	49	54	59	66	70	73	81	87	91	105	--
25	59	64	70	77	84	88	95	103	110	116	123	140
35	--	77	86	96	104	110	119	127	137	144	154	174
50	--	94	103	117	125	133	145	155	167	175	188	210
70	--	--	--	149	160	171	185	199	214	224	244	269
95	--	--	--	180	194	207	224	241	259	271	296	327
120	--	--	--	208	225	240	260	280	301	314	348	380
150	--	--	--	236	260	278	299	322	343	363	404	438
185	--	--	--	268	297	317	341	368	391	415	464	500
240	--	--	--	315	350	374	401	435	468	490	552	590
300	--	--	--	361	401	430	461	500	538	563	638	678
400	--	--	--	431	480	515	552	600	645	674	770	812
500	--	--	--	493	551	592	633	687	741	774	889	931
630	--	--	--	565	632	681	728	790	853	890	1028	1071

Se indican como 3x los circuitos trifásicos y como 2x los monofásicos.
A efecto de las intensidades admisibles los cables con aislamiento termoplástico a base de poliolefina (Z1) son equivalentes a los cables con aislamiento de policloruro de vinilo (V).

De dicha sección deberá ser comprobada la caída de tensión del 1,5% mencionada anteriormente:



$$\%V = \frac{200 * P * L}{C * S * V^2} = \frac{200 * 4600 * 10}{44 * 2,5 * 292} = \mathbf{0,98 \%}$$

5.4.2.5 Protecciones

Para la parte de corriente continua (paneles- inversor):

- Protección contra sobretensiones transitorias (SPD)
- Fusibles de corriente continua.
- Interruptor seccionador de corriente continua.
- Protección contra aislamiento de corriente continua.

Para la parte de corriente alterna (inversor- instalación):

- Protección contra sobretensiones transitorias (SPD)
- Interruptor diferencial en corriente alterna.
- Interruptor magnetotérmico en corriente alterna.
- Protección contra sobretensiones permanentes (OVP)



5.5 ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA POST INSTALACIÓN

Se repite el análisis de eficiencia energética realizado en el apartado 5.2, pero ahora incluyendo en el programa CE3X las dos principales propuestas de mejora, el sistema geotérmico y el sistema fotovoltaico de apoyo.

Equipo mixto de calefacción y ACS

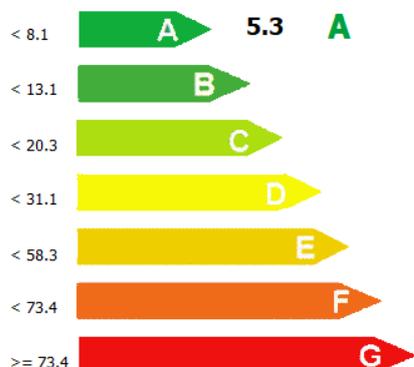
Nombre	Calefacción y ACS		Zona	Edificio Objeto	
Características				Demanda cubierta	
Tipo de generador	Caldera Estándar		ACS	Calefacción	
Tipo de combustible	Gas Natural		Superficie (m ²)	142.0	142.0
			Porcentaje (%)	100	100
Rendimiento medio estacional					
Rendimiento estacional	Conocido (Ensayado/justificado)				
A.C.S	Rendimiento medio estacional	85	%		
Calefacción	Rendimiento medio estacional	90	%		
<input checked="" type="checkbox"/> Con Acumulación					
Valor UA	Estimado		UA	1.8 W/K	
Volumen de un depósito	350	l	Multiplicador	1	Tª alta 80 °C
Tipo de aislamiento	Poliuretano Rígido		Espesor	0.033	m Tª baja 60 °C
<input checked="" type="checkbox"/> Generación electricidad mediante renovables / Cogeneración					
Energía eléctrica generada para autoconsumo	800	kWh/año	Energía consumida		kWh/año
Calor recuperado para ACS		kWh/año	Tipo de combustible		
Calor recuperado para calefacción		kWh/año			
Frío recuperado		kWh/año			

Figura 5.15: Instalaciones del edificio (Fuente: CE3X)



Calificación energética de edificios

Indicador kgCO₂/m²



Edificio objeto

Demanda de calefacción (kWh/m ²)	43.1	C
Demanda de refrigeración (kWh/m ²)	No calificable	
Emisiones de calefacción (kg CO ₂ /m ²)	2.9	A
Emisiones de refrigeración (kg CO ₂ /m ²)	No calificable	
Emisiones de ACS (kg CO ₂ /m ²)	2.4	A

Figura 5.16: Calificación obtenida (Fuente: CE3X)

5.6 ANÁLISIS ECONÓMICO

5.6.1 Presupuesto instalación geotermia

Tabla 5.15: Presupuesto instalación geotérmica

		UNIDADES	€/UNIDAD	TOTAL
EQUIPOS	Bomba ECOGEO C1 3-12kW	1	7506€	7506€
	Sondas FERRO TERM PE-100 de doble U 32 x 3 mm, 100 m	2	1407€	2814€
	Fluido Circulante	150l	3€	456€
	Suelo radiante	138m ²	45€	6120€
	Otros materiales (filtros, manguitos, válvulas, etc)	-	-	2000€
MANO DE OBRA	Perforación	200m	5	1000€
TOTAL				19896€



5.6.2 Presupuesto instalación fotovoltaica

Tabla 5.16: Presupuesto instalación fotovoltaica.

		UNIDADES	€/UNIDAD	TOTAL
EQUIPOS	Panel RISEN TopCon N 450W	9	70€	630€
	Inversor FRONIUS PRIMO 5.0-1 light 5Kw	1	1555€	1555€
	Cableado alterna	-	-	250€
	Cableado continua	-	-	250€
	Protecciones	-	-	330€
	Estructura metálica			1000€
	Otros materiales ()	-	-	500€
MANO DE OBRA	Instalación	-	-	1000€
TOTAL				5515€

5.6.3 Rentabilidad: VAN Y TIR

Como se ha dicho anteriormente, el estudio de rentabilidad se va a realizar con los métodos del VAN y el TIR aplicados sobre el presupuesto total: **25411,00€**

Además, se tendrá en cuenta un tipo de interés de un 3% ya que este es un interés de riesgo medio en las inversiones bancarias en la actualidad. También, se debe tener en cuenta la inversión inicial de la instalación y un período de 30 años.



Tabla 5.17: Balance económico de la instalación en el que se calcula el VAN y la TIR

Año	Producción Anual (kWh)	Precio kWh (€)	Ahorro Gas anual*	Ingresos anuales (€)	Mantenimiento (€)	Flujo de caja no actualizado	VAN	TIR
0	-	-	-	-	-	-25411	-	-
1	5385	0.1533	750	1575.52	100	1475.52	-22.587.64 €	-94%
2	5385	0.1533	750	1575.52	100	1475.52	-21.237.33 €	-73%
3	5385	0.1533	750	1575.52	100	1475.52	-19.926.35 €	-54%
4	5385	0.1533	750	1575.52	100	1475.52	-18.653.55 €	-40%
5	5385	0.1533	750	1575.52	100	1475.52	-17.417.82 €	-31%
6	5385	0.1533	750	1575.52	100	1475.52	-16.218.09 €	-24%
7	5385	0.1533	750	1575.52	100	1475.52	-15.053.30 €	-18%
8	5385	0.1533	750	1575.52	100	1475.52	-13.922.44 €	-14%
9	5385	0.1533	750	1575.52	100	1475.52	-12.824.51 €	-11%
10	5385	0.1533	750	1575.52	100	1475.52	-11.758.56 €	-9%
11	5385	0.1533	750	1575.52	100	1475.52	-10.723.66 €	-7%
12	5385	0.1533	750	1575.52	100	1475.52	-9.718.91 €	-5%
13	5385	0.1533	750	1575.52	100	1475.52	-8.743.41 €	-4%
14	5385	0.1533	750	1575.52	100	1475.52	-7.796.33 €	-3%
15	5385	0.1533	750	1575.52	100	1475.52	-6.876.84 €	-2%
16	5385	0.1533	750	1575.52	100	1475.52	-5.984.12 €	-1%
17	5385	0.1533	750	1575.52	100	1475.52	-5.117.41 €	0%
18	5385	0.1533	750	1575.52	100	1475.52	-4.275.94 €	0%
19	5385	0.1533	750	1575.52	100	1475.52	-3.458.98 €	1%
20	5385	0.1533	750	1575.52	100	1475.52	-2.665.82 €	1%
21	5385	0.1533	750	1575.52	100	1475.52	-1.895.75 €	2%
22	5385	0.1533	750	1575.52	100	1475.52	-1.148.12 €	2%
23	5385	0.1533	750	1575.52	100	1475.52	-422.26 €	3%
24	5385	0.1533	750	1575.52	100	1475.52	282.46 €	3%
25	5385	0.1533	750	1575.52	100	1475.52	966.18 €	3%
26	5385	0.1533	750	1575.52	100	1474.52	1.629.55 €	3%
27	5385	0.1533	750	1575.52	100	1473.52	2.273.15 €	4%
28	5385	0.1533	750	1575.52	100	1472.52	2.897.59 €	4%
29	5385	0.1533	750	1575.52	100	1471.52	3.503.42 €	4%
30	5385	0.1533	750	1575.52	100	1470.52	3.503.42 €	4%

***Ahorro gas anual:** debido al uso de geotermia como calefacción, se realiza el siguiente cálculo para aproximar el ahorro anual en gas si la climatización dependiese de una caldera de Gas natural:

- Consumo de gas vivienda unifamiliar zona atlántico norte [21]: 14798 kWh
- Gasto teórico: 14798 kWh * 0,0511 €/kWh = 756€/año



DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN GEOTÉRMICA CON APOYO FOTOVOLTAICO PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR



Como se puede observar anteriormente, a partir del año 23 aparece un VAN positivo, esto quiere decir que a partir del año 23 la instalación empezará a ser viable. Coincide esto con un TIR del 3% ya que se ha escogido un tipo de interés del 3%, entonces a partir de dicho interés, aparecerá un VAN positivo.



6. CONCLUSIONES

En el transcurso de este trabajo, se ha llevado a cabo el dimensionamiento de una instalación geotérmica con apoyo fotovoltaico para una vivienda unifamiliar, considerando tanto los aspectos técnicos como económicos. A través de un análisis exhaustivo de diversas opciones, se ha buscado aquella que optimice consumo energético al máximo con la menor inversión posible. Para respaldar la eficiencia energética alcanzada con estas instalaciones se ha comparado mediante el software CE3X la eficiencia para la misma vivienda equipada con una caldera de gas natural obteniendo una calificación D y después de aplicar estos sistemas dicha calificación pasa a ser de tipo A. En lo que respecta a los aspectos económicos, se ha realizado un análisis riguroso de los costes asociados a la implementación de las distintas propuestas. Este análisis no solo ha considerado la inversión inicial, sino también los beneficios a largo plazo en términos de ahorro energético y se ha comparado, al igual que con la calificación energética, con el gasto que supondría el uso de gas natural para climatización y ACS. Al realizar el cálculo del VAN y la TIR obtenemos que la instalación comienza a ser rentable a partir del año 23.



7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Documento Básico de ahorro de energía- Ministerio de vivienda y agenda urbana» <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DBHE.pdf>
- [2] «¿Sabemos definir la envolvente térmica de los edificios y su eficiencia energética? » <https://www.certificadosenergeticos.com/sabemos-definir-envolvente-termica-edificios-eficiencia-energetica>
- [3] «Cuáles son los mejores programas de certificación energética» <https://www.saltoki.com/blog/mejores-programas-de-certificacion-energetica>
- [4] «¿mejor programa para realizar certificado energético?» https://certificadodeeficienciaenergetica.com/blog/mejor-programa-para-realizar-el-certificado-energetico/#LIDER-CALENER_herramienta_unificada_HULC
- [5] « CYPETHERM HE Plus » <https://info.cype.com/es/producto/cypetherm-he-plus/>
- [6] «DOCUMENTO RECONOCIDO PARA LA CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA DE LOS EDIFICIOS. TEKTON3D TK-CEEP» https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/energia/files-1/Eficiencia/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/procedimientos-para-certificaci%C3%B3n/tekton3d/TK-CEEP_Manual_usuario_1-02-2022.pdf
- [7] «Diferencias entre CE3 y CE3X » <https://www.certicalia.com/blog/diferencias-ce3-ce3x>
- [8] «EL LIBRO DE LAS ENERGIAS RENOVABLES» https://fjarabo.webs.ull.es/UALaPalma/DocPropios/Geotermica_Resumen.pdf
- [9] «Manual de Geotermia» https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/documentos_10952_manual_geotermia_a2008_e3bf1e59.pdf
- [10] «Geotermia: La Energía de la Tierra » <https://www.unioviedo.es/catedrahunosa/index.php/geotermia/>



- [11] «Energía geotérmica a partir del agua de mina»
<https://www.hunosa.es/2020/04/23/servicios-energeticos-geotermia/>
- [12] «Clima Santillana del mar » <https://es.climate-data.org/europe/espana/cantabria/santillana-del-mar-210047/>
- [13] «Mapa geológico de Cantabria» <https://mapas.cantabria.es/>
- [14] «climáticas exteriores de proyecto»
https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_12_Guia_tecnica_condiciones_climaticas_exteriores_de_proyecto_e4e5b769.pdf
- [15] «Guía Técnica de Sondeos Geotérmicos Superficiales»
<https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2009/02/guia-tecnica-sondeos-geotermicos-superficiales.pdf>
- [16] «Guía de evaluación inicial de edificios para la instalación de sistemas fotovoltaicos»
https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/guia_evaluacion_sistema_fv.pdf
- [17] «Cálculo de sombra con el método del solsticio de invierno»
[Cálculo de sombra con el método del solsticio de invierno - CCEEA](#)
- [18] «PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM» https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/
- [19] «Efecto de la temperatura en la eficiencia de paneles fotovoltaicos» <file:///C:/Users/migue/Downloads/11841-Manuscrito-75292-1-10-20231211.pdf>
- [20] «Van y TIR: Concepto, diferencias y cómo calcularlos | Economía 3» : [Van y TIR: Concepto, diferencias y cómo calcularlos | Economía 3](#)
- [21] «¿Cuánto se paga de gas natural al mes? »
<https://tarifasgasluz.com/faq/factura-gas/consumo-medio-gas>



- [22] «Geotermia en casa: una forma eficiente de climatizar tu hogar» <https://energanova.es/geotermia-en-casa/>
- [23] «El verdadero boom del autoconsumo en España»
<https://elperiodicodelaenergia.com/el-verdadero-boom-del-autoconsumo-llega-ahora-a-europa-podria-suministrar-energia-solar-a-56-millones-de-hogares/>
- [24] «Guía técnica de aplicación de protecciones»
https://www.f2i2.net/documentos/lsiF2I2/rbt/guias/guia_bt_24_jun19R2.pdf
- [25] «Análisis de la viabilidad de un sistema de energía geotérmica en una vivienda unifamiliar» Autor: Eduardo Gil Pérez-Hickman ;
<https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/13168/TFG-I-156.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [26] « Dimensionado de una instalación fotovoltaica de autoconsumo para alimentar una explotación ganadera en castroverde, lugo» Autor: Andrea Rodil Gandoy ;
https://oa.upm.es/70586/1/TFM_ANDREA_RODIL_GANDOY.pdf