



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN GEOTÉRMICA DE BAJA ENTALPÍA PARA LA CLIMATIZACIÓN DE UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR SITUADA EN BOECILLO (VALLADOLID)

AUTOR: CARLA MARÍA CARREÑO FLORES

TUTOR: JOSÉ FELIPE VILLANUEVA LÓPEZ

COTUTORA: MARÍA TERESA MAGRANER BENEDICTO

Curso Académico: 2020-21

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por apoyarme y acompañarme en este proyecto que tanto tiempo le he dedicado.

A mi tutor José Felipe, porque sin su inestimable ayuda y orientación no hubiera sido posible la realización de este trabajo, unido a su amable trato, propio de esos docentes del que te queda tan buen recuerdo.

A mi cotutora Teresa, por prestarme su ayuda y aconsejarme con sus conocimientos sobre la geotermia para llevar a buen término este trabajo de esta disciplina tan interesante.

A mi abuelo Antonio, por ser el inspirador de la idea para abordar este proyecto y animarme siempre a tener una buena formación e inquietudes para aprender siempre algo más y mejor.

Por último, a mi primo Javier de Valladolid por su disposición para aportarme su proyecto de vivienda como base del trabajo.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo de fin de grado es el cálculo y dimensionamiento de una instalación térmica para la climatización de una vivienda a partir de energía renovable y sostenible; la Geotermia. Se pretende obtener energía para calefacción, refrigeración y producción de ACS (Agua Caliente Sanitaria) empleando una bomba de calor geotérmica que aprovecha la energía de baja entalpía del terreno a partir de un sistema de captación vertical para una vivienda unifamiliar situada en el municipio de Boecillo en la provincia de Valladolid.

Se incluye un estudio de la viabilidad económica y energética de la instalación y una comparativa frente a un sistema convencional para ver su rentabilidad, el impacto medioambiental y las emisiones de CO₂ de ambas.

RESUM

L'objectiu d'aquest treball de fi de grau és el càlcul i dimensionament d'una instal·lació tèrmica per a la climatització d'un habitatge a partir d'energia renovable i sostenible; la Geotèrmia. Es pretén obtenir energia per a calefacció, refrigeració i producció d'ACS (Aigua Calenta Sanitària) emprant una bomba de calor geotèrmica que aprofita l'energia de baixa entalpia del terreny a partir d'un sistema de captació vertical per a un habitatge unifamiliar situat en el municipi de Boecillo a la província de Valladolid.

S'inclou un estudi de la viabilitat econòmica i energètica de la instal·lació i una comparativa enfront d'un sistema convencional per a veure la seua rendibilitat, l'impacte mediambiental i les emissions de CO₂ d'ambdues.

ABSTRACT

The objective of this bachelor thesis is the calculation and measuring of a thermal installation for the air conditioning of a house from renewable and sustainable energy; Geothermal. It is intended to obtain energy for heating, cooling and DHW (Domestic Hot Water) production using a geothermal heat pump that takes advantage of the low enthalpy energy of the land from a vertical capture system for a single-family home located in the municipality of Boecillo in the province of Valladolid.

It includes a study of the economic and energy feasibility of the installation and a comparison with a conventional system to see its profitability, the environmental impact and the CO₂ emissions of both.

Índice de documentos del proyecto

- Memoria descriptiva
- Presupuesto
- Anexo

MEMORIA DESCRIPTIVA

Índice

1	Objetivos y alcance.....	13
2	Normativa.....	14
3	La geotermia en el mundo	15
3.1	Energía geotérmica en el mundo	15
3.2	Energía geotérmica en España	17
3.3	Geotermia en Castilla y León.....	19
4	Energía geotérmica y desarrollo sostenible.....	20
5	Fundamentos de la energía geotérmica	21
5.1	Gradiente térmico	21
5.2	Flujo de calor	22
5.3	Recursos y yacimientos geotérmicos	22
5.4	Tecnologías de aprovechamiento	23
5.5	Bomba de calor geotérmica	25
5.6	Componentes y funcionamiento bomba de calor.....	27
5.6.1	Funcionamiento del sistema para generar calor:.....	27
5.6.2	Funcionamiento del sistema para generar frío:	28
6	Descripción de la vivienda y condiciones del terreno.....	29
6.1	Ubicación de la vivienda.....	29
6.2	Distribución de la vivienda	30
6.3	Condiciones climatológicas	32
6.4	Geología del terreno	33
6.5	Estimación temperatura del terreno.....	34
7	Cálculo de cargas térmicas y demanda energética.....	37
7.1	Cargas térmicas	37
7.1.1	La envolvente térmica.....	38
7.1.2	Cargas térmicas de refrigeración	39
7.1.3	Cargas térmicas de calefacción	41
7.1.4	Resumen cargas térmicas.....	42
7.2	Agua Caliente Sanitaria	42
7.3	Cálculos de demanda	44
8	Diseño Instalación	47
8.1	Selección de la bomba de calor geotérmica	47

8.1.1	Rendimiento de la bomba de calor geotérmica.....	49
8.1.2	Energía renovable de la bomba calor.....	50
8.2	Sistema de captación	51
8.2.1	Técnicas de perforación	51
8.2.2	Tipo de sonda	51
8.2.3	Selección del material de relleno	52
8.2.4	Dimensionado del intercambiador.....	52
8.2.5	Análisis de resultados del sistema de captación.....	53
8.3	Sistema de distribución	57
8.4	Esquema de la instalación	58
9	Estudio económico, energético y medioambiental	61
9.1	Estudio de viabilidad económica.....	61
9.1.1	Coste energético anual.....	61
9.1.2	Coste de la inversión	62
9.1.3	Estudio de amortización.....	64
9.2	Estudio de viabilidad energética	67
9.3	Estudio medioambiental	70
9.3.1	Cálculo del TEWI.....	71
10	Conclusiones.....	73
11	Bibliografía	75

Índice de figuras

Figura 1. Ranking mundial de capacidad instalada de energía geotérmica. Fuente: web IRENA.	15
Figura 2. Mapa mundial con los principales países productores de energía eléctrica geotérmica. Fuente: Guía de la energía geotérmica.	16
Figura 3. Consumo de diferentes fuentes de producción de energía en España. Fuente: web IRENA.	17
Figura 4. Mapa de los recursos geotérmicos en España. Fuente: web de Geoplat.	18
Figura 5. Gradiente geotérmico. Fuente: Manual de la geotermia.	21
Figura 6. Central geotérmica. Fuente: Google Fotos.	24
Figura 7. Esquema de funcionamiento de la bomba de calor geotérmica. Fuente: Guía técnica del diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado (IDAE).	25
Figura 8. Esquema de tipos de instalaciones de intercambiadores enterrados. Fuente: Google fotos.	26
Figura 9. Esquema de funcionamiento de la bomba geotérmica en modo calefacción. Fuente: Google Fotos.	27
Figura 10. Esquema de funcionamiento de la bomba geotérmica en modo refrigeración. Fuente: Google Fotos.	28
Figura 12. Mapa en relieve de detalle de la provincia de Valladolid. Fuente: Google Maps.	29
Figura 11. Mapa satélite de España. Fuente: Google Maps.	29
Figura 13. Vista satélite de la parcela de la vivienda unifamiliar situada en Boecillo. Fuente: Google Maps.	30
Figura 14. Plano de la vivienda. Fuente propia.	31
Figura 15. Evolución de las temperaturas máximas y mínimas mensuales de la provincia de Valladolid. Fuente: web de Meteoblue.	32
Figura 16. Mapa geológico de detalle de una zona de la provincia de Valladolid. Fuente: archivo de la web del Instituto Geológico y Minero de España.	33
Figura 17. Esquema de funcionamiento de la tecnología HTR. Fuente: vídeo de youtube. ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 19. Bomba de calor geotérmica ecoGEO 3-12 kW. Fuente: catálogo ecoForest.	48
Figura 20. Esquema de detalle de la sonda geotérmica. Fuente: Google Fotos.	51
Figura 24. Esquema suelo radiante/refrescante.	58
Figura 21. Plano general de la instalación geotérmica en la vivienda. Fuente propia.	59
Figura 22. Detalle de la sonda geotérmica. Fuente propia.	60
Figura 23. Detalle de la sala técnica. Fuente propia.	60

Índice de tablas

Tabla 1. Superficie por recinto de la vivienda. Fuente propia.	30
Tabla 2. Temperaturas medias mensuales de Valladolid. Fuente propia.	32
Tabla 3. Valores de conductividad térmica y capacidad volumétrica según el tipo de terreno. Fuente propia.	34
Tabla 4. Tabla de datos. Fuente propia.	35
Tabla 5. Condiciones ambientales.	37
Tabla 6. Superficie de los recintos a climatizar. Fuente propia.	38
Tabla 7. Propiedades de la envolvente térmica.	38
Tabla 8. Propiedades de los huecos.	39
Tabla 9. Cargas térmicas de refrigeración. Fuente propia.	40
Tabla 10. Cargas térmicas de calefacción. Fuente propia.	41
Tabla 11. Reparto de cargas térmicas por recinto. Fuente propia.	42
Tabla 13. Demanda de ACS a la temperatura de 50 ^a C. Fuente propia.	43
Tabla 14. Demanda mensual de ACS.	43
Tabla 14. Demanda energética mensual. Fuente propia.	44
Tabla 15. Especificaciones técnicas de la bomba de calor geotérmica. Fuente: catálogo de ecoForest.	47
Tabla 16. Demanda mensual de energía necesaria. Fuente propia.	52
Tabla 17. Propiedades fluido caloportador. Fuente propia.	53
Tabla 18. Extracción de calor específica.	54
Tabla 19. Temperaturas mensuales para distintos años del fluido caloportador. (Cargas base)	55
Tabla 20. Temperatura máxima y mínima del fluido caloportador.	55
Tabla 21. Temperaturas mensuales para distintos años del fluido caloportador. (Cargas pico)	56
Tabla 22. Temperatura máxima y mínima del fluido caloportador para las cargas pico.	56
Tabla 24. Consumos y costes de energía. Fuente propia.	62
Tabla 24. Presupuesto del proyecto de generación de energía para la climatización. Fuente propia.	63
Tabla 25. Costes iniciales. Fuente propia.	64
Tabla 26. Datos necesarios para el cálculo del VAN y el TIR. Fuente propia.	65
Tabla 27. VAN Instalación geotérmica frente a instalación tradicional. Fuente propia.	66
Tabla 28. Demanda energética. Fuente propia.	67
Tabla 29. Emisiones de CO ₂ por combustible. Fuente propia.	70
Tabla 30. Emisiones de CO ₂ según el sistema de climatización. Fuente propia.	70

Índice de gráficas

Gráfica 1. Evolución anual de las temperaturas del terreno a distintas profundidades. Fuente propia.	35
Gráfica 2. Evolución de las temperaturas máximas y mínimas según la profundidad. Fuente propia	36
Gráfica 3. Reparto de cargas térmicas de refrigeración de la vivienda unifamiliar. Fuente propia.	40
Gráfica 4. Reparto de las cargas térmicas de calefacción de la vivienda unifamiliar. Fuente propia.	41
Gráfica 5. Demanda mensual de energía térmica. Fuente propia.	45
Gráfica 6. Demanda anual de calefacción, ACS y refrigeración. Fuente propia.....	45
Gráfica 7. Temperaturas del fluido caloportador. Fuente propia.....	57
Gráfica 8. Evolución del VAN. Fuente propia.	66
Gráfica 9. Demanda energética. Fuente propia.	68
Gráfica 10. Consumo energético. Fuente propia.	69
Gráfica 11. Emisiones de CO ₂ . Fuente propia.	71

1 Objetivos y alcance

El propósito principal del proyecto es el cálculo y dimensionamiento de una instalación térmica para la climatización de una vivienda a partir de energía geotérmica.

Los objetivos que se quieren alcanzar en el desarrollo del proyecto son los siguientes:

- Conocer la situación de la geotermia en la actualidad y las técnicas para el aprovechamiento del potencial energético de los recursos geotérmicos. Así como el estudio de la bomba de calor geotérmica como forma de extracción de la energía del subsuelo y el funcionamiento de este tipo de instalaciones.
- Realizar un estudio de las propiedades del terreno y condiciones climatológicas donde se ubica la vivienda.
- Obtener el cálculo de las cargas térmicas de la vivienda en estudio y la demanda de calefacción, Agua Caliente Sanitaria (ACS) y refrigeración requerida.
- Seleccionar la bomba de calor geotérmica adecuada a las exigencias de diseño de la vivienda.
- Dimensionar el intercambiador geotérmico que permita captar la energía geotérmica que proporciona el subsuelo del emplazamiento.
- Realizar un estudio económico, energético y medioambiental de la instalación geotérmica y una comparativa frente a un sistema convencional.
- Calcular el presupuesto de la inversión y el coste energético anual con el que comprobar la rentabilidad del proyecto.
- Verificar la viabilidad energética del sistema geotérmico y su impacto medioambiental.

2 Normativa

La energía geotérmica siempre ha sido la gran olvidada, motivo por el cual existe un déficit de información sobre el grado de implantación real de la geotermia, no solo en Castilla y León, sino en toda España.

En materia de normativa energética, a nivel nacional, hay que tener en cuenta el Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. Establece las exigencias de eficiencia energética y de seguridad de las instalaciones térmicas en edificios destinadas a atender la demanda de bienestar e higiene de las personas, desde el momento de su diseño al de utilización, también establece que toda instalación térmica en edificios debe ser registrada.

Por tanto, se aplica a la geotermia para aprovechamiento térmico, el Real Decreto 413/2014 de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.

Por otro lado, es de aplicación la siguiente normativa:

- Norma UNE 100715-1:2014. Diseño, ejecución y seguimiento de una instalación geotérmica somera.
- Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables. Reconoce como energía renovable la energía capturada por bombas de calor, según dice su artículo 5 y se define en el Anexo VII: Balance energético de las bombas de calor.
- Decisión de la Comisión de 1 de marzo de 2013 (2013/114/UE). Establece el parámetro de rendimiento con el valor del 45,5% por lo que las bombas de calor accionadas eléctricamente deben de considerarse como renovables siempre que su SPF sea superior a 2,5.
- Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo, y la Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE «Ahorro de Energía», del Código Técnico de la Edificación. Establece las reglas y procedimientos que permiten cumplir el requisito básico de ahorro de energía, y se divide en 5 exigencias básicas.
- Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (2021-2030), entre otras medidas prevé que en 2030 las renovables aporten el 42% de la energía en España.
- Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.
- Orden FOM/1635/2013, DE 10 de septiembre, actualiza el Documento Básico DB-HE ahorro de Energía, del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.

3 La geotermia en el mundo

3.1 Energía geotérmica en el mundo

El actual sistema energético a nivel mundial está basado en la generación de energía a partir de combustibles fósiles, pero la generación de energía a partir de estas materias está siendo replanteada por ser recursos limitados y sus graves efectos en el medio ambiente. La sociedad actual está cada vez más concienciada sobre ello y siente la necesidad de proteger el medio ambiente y emplear métodos no contaminantes como son las energías renovables.

A diferencia de las energías fósiles, los recursos geotérmicos no están localizados en lugares concretos, el calor del subsuelo está presente en todos los continentes a disposición de todos. Si que es verdad que dependiendo de las formaciones geológicas o de la composición de las rocas, y del gradiente térmico, la energía geotérmica será de mayor o menor temperatura y más o menos fácil de extraer, pero las técnicas existentes hoy en día permiten un desarrollo global de la energía geotérmica. [5]

En 2019 la potencia instalada a nivel mundial era de 13886,34 MW y la cantidad total de energía eléctrica generada en el mundo a partir de energía geotérmica en 2018 fue de 88408,15 GWh.[7]

La Figura 1 muestra el ranking con los países que poseen la mayor capacidad instalada de energía geotérmica para el año 2020.



Figura 1. Ranking mundial de capacidad instalada de energía geotérmica.
Fuente: web IRENA.

Estados Unidos es el país líder en producción de electricidad a partir de energía geotérmica, con una potencia total instalada de 2587,1 MW en el año 2020. De hecho, el 2,5% de la electricidad generada en el país se produce a partir de energía geotérmica.

En el caso de Asia, los recursos geotérmicos se están desarrollando ampliamente, siendo Filipinas e Indonesia los principales generadores de energía a partir de este recurso después de EE. UU. Se encuentran en el “Anillo de Fuego” alrededor del océano Pacífico donde se hallan recursos geotérmicos con gran capacidad de extracción y accesibles. [3]

Le sigue Turquía, con una capacidad instalada de 1613,21 MW de energía geotérmica. En este país la geotermia supone el 21% de la energía consumida a partir de energías renovables.

Otros países con alta capacidad instalada de energía geotérmica son Kenia y México como se observa en la Figura 1. En Europa destaca Italia como principal generador de energía eléctrica a partir de recursos geotérmicos.

Cabe comentar el caso de Islandia, el cual, actualmente es el país más activo en el uso de esta energía. Produce el 99,9% de su electricidad a partir de energías renovables, siendo el 30% de origen geotérmico. Su situación en medio de un borde divergente de placas continentales hace que la actividad magmática de la isla sea intensa, propiciando temperaturas elevadas en el subsuelo.

Todos los datos comentados anteriormente han sido extraídos de la web de IRENA (International Renewable Energy Agency). [7]



Figura 2. Mapa mundial con los principales países productores de energía eléctrica geotérmica. Fuente: Guía de la energía geotérmica.

En la Figura 2 están plasmados los datos comentados de la Figura 1. En el mapamundi se sitúan las zonas con mayores explotaciones de recursos geotérmicos.

Los principales yacimientos de energía geotérmica en Europa se encuentran en Italia, Islandia, Francia, Austria, Hungría, Bulgaria y en menor grado en Alemania y Suiza. Las previsiones para la geotermia de muy baja entalpía, mediante la utilización de bomba de calor, son mucho más favorables y se espera un importante despliegue en los próximos años, la Unión Europea está apostando por este tipo de aplicación en el mundo. Suecia es el país de la UE con mayor capacidad instalada de bombas de calor geotérmicas, le siguen Alemania y Francia.

3.2 Energía geotérmica en España

La geotermia se encuentra entre las fuentes de energía renovables menos explotadas en nuestro país.

Como se observa en la Figura 3, el consumo de esta energía apenas llega a un 1% del total de las renovables. Esta situación generalmente se ha venido justificando por el escaso potencial de desarrollo que, supuestamente, presenta esta forma de aprovechamiento energético. Esta apreciación es un error ya que no disponer de grandes yacimientos de alta temperatura no quiere decir que el potencial geotérmico disponible sea nulo.

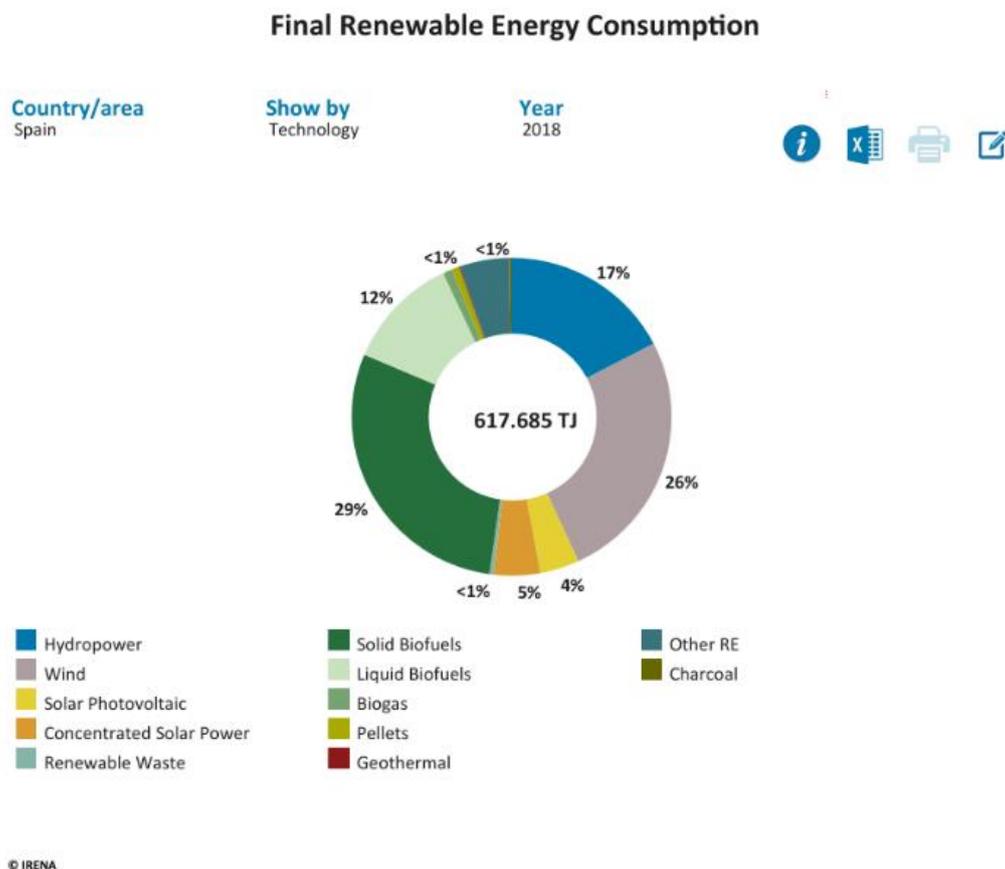


Figura 3. Consumo de diferentes fuentes de producción de energía en España. Fuente: web IRENA.

En España, su desconocimiento, la escasa legislación y tradición en la innovación, la heterogeneidad de sus condiciones climatológicas y de suelo, entre otros factores, han supuesto hasta años recientes una auténtica barrera para los sistemas de BCG (Bomba de Calor Geotérmica), a pesar de que su aplicación resulta adecuada desde el punto de vista técnico. Pese a los inconvenientes comentados, actualmente el desarrollo en este ámbito avanza a buen ritmo y en poco tiempo se espera que nos encontremos en el nivel de otros países europeos.

El país cuenta con niveles altos de radiación solar, que posibilita una temperatura estable alrededor de los 15 grados a partir de los 8-10 m de profundidad independientemente de la estación del año o las condiciones meteorológicas. La energía térmica se encuentra contenida en las rocas del subsuelo y en los acuíferos someros como recursos geotérmicos de muy baja temperatura.

Las áreas peninsulares e insulares de mayor potencial geotérmico quedan reflejadas en el mapa de la Figura 4. [8]

En España no se explotan recursos geotérmicos de alta ni de media temperatura, con los que se podría llegar a producir energía eléctrica.

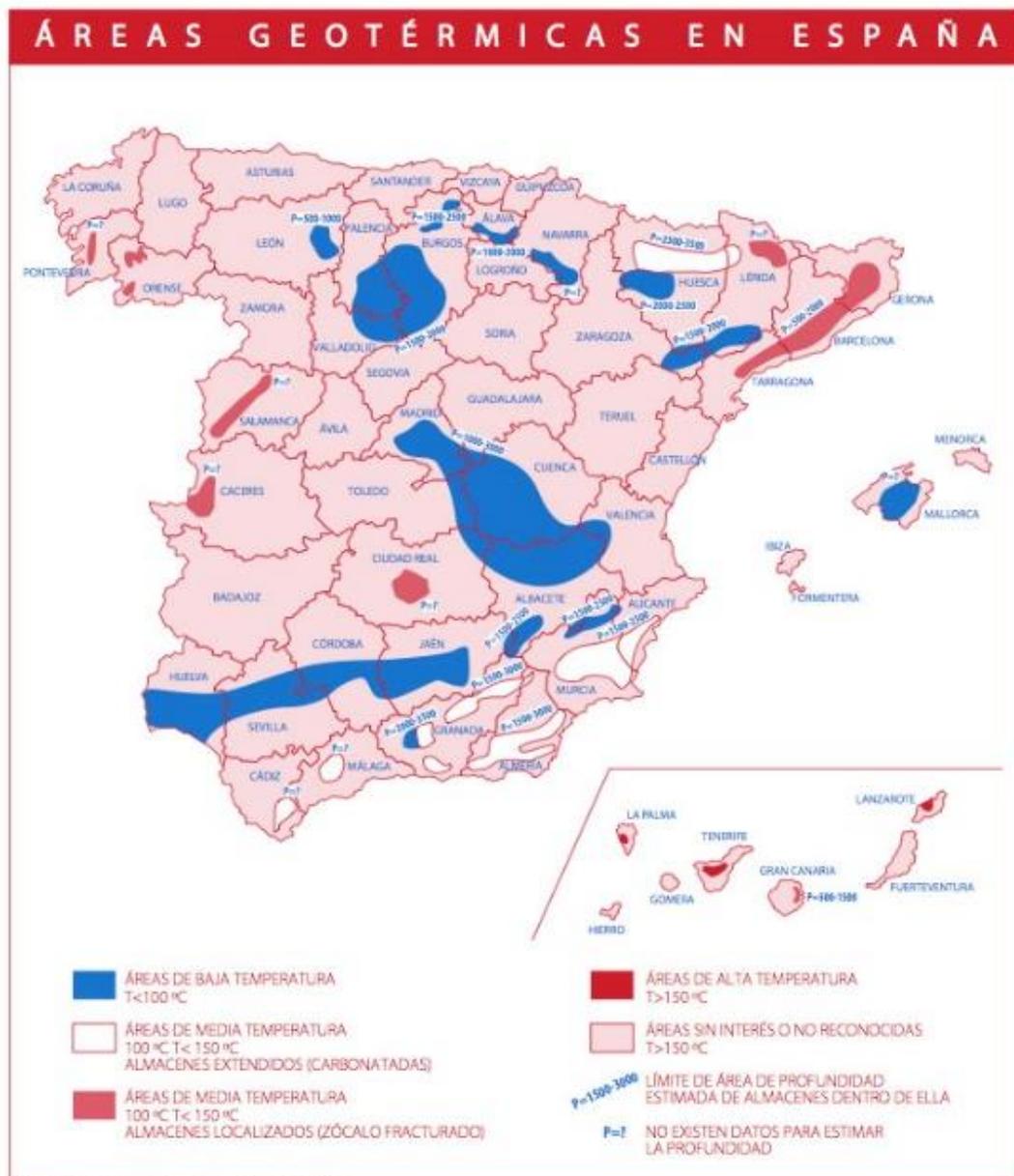


Figura 4. Mapa de los recursos geotérmicos en España. Fuente: web de Geoplát.

La investigación de los recursos geotérmicos en el país es llevada a cabo por parte del Instituto Geológico y Minero de España (IGME). En la década de los setenta se realizó un reconocimiento general, geológico y geoquímico, de los indicios termales existentes en todo el territorio mediante el Inventario General de Manifestaciones Geotérmicas. Posteriormente se ha realizado una selección de las áreas de mayor interés geotérmico y han sido investigadas mediante estudios de detalle hasta que finalmente mediante perforaciones profundas ha sido posible evaluar el potencial geotérmico de las áreas más importantes. Éstas se sitúan en el sureste; en las provincias de Granada, Almería y Murcia, en el nordeste; en Barcelona, Gerona y Tarragona, en el noroeste; en Orense, Pontevedra y Lugo y, por último, en el centro de la península en Madrid. En todos estos casos los recursos geotérmicos evaluados son de baja temperatura, entre 50-90°C. Esta energía geotérmica se utiliza para calefacción y suministro de agua caliente mayoritariamente.[10]

Las Islas Canarias se distinguen del resto del territorio nacional por la presencia de un recurso geotérmico de alta temperatura (más de 150°C) de naturaleza volcánica que podría ser aprovechado para generar electricidad con tecnología flash, más concretamente en las islas de Lanzarote, La Palma y Tenerife.

Las comunidades autónomas con mayor potencia instalada a partir de recursos geotérmicos de baja y muy baja temperatura son, en este orden, Cataluña, Madrid y País Vasco. En cuanto a las bombas de calor geotérmicas, España contaba en el año 2019 con 9383 plantas con una potencia térmica de 227710 kW. Los sistemas para servicios de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria son los más numerosos. [9]

3.3 Geotermia en Castilla y León

De los datos geológicos de Castilla y León se constata la inexistencia de yacimientos geotérmicos de media y alta temperatura. Sin embargo, existen dos zonas con un potencial geotérmico interesante: Villalonquéjar (Burgos) que cuenta con un acuífero de baja temperatura (70-80°C) y el sur de las provincias de Valladolid y León que tiene un acuífero de muy baja temperatura (25-30°C). [11]

La sociedad SIEMCALSA (Sociedad de Investigación y Explotación Minera de Castilla y León) y el EREN (Ente Público Regional de la Energía de Castilla y León), dependientes de la Dirección General de Energía y Minas de Castilla y León, promovieron en el año 2010 un censo de instalaciones geotérmicas con bomba de calor en Castilla y León, que sirviera como punto de partida para conocer tanto la capacidad geotérmica instalada como las tecnologías utilizadas.

Gracias a esto, a principios del año 2013, Castilla y León contaba con 465 instalaciones de bombas de calor geotérmicas, con 8009 kW de potencia térmica instalada. El 71% corresponde a instalaciones con intercambiador vertical, el 19 % a intercambiador horizontal y el 10% a sistemas abiertos. Por sectores, el 93% de las instalaciones se han ejecutado en vivienda, 6% en sector servicios y solo un 1% en la industria. [11]

4 Energía geotérmica y desarrollo sostenible

Es una de las fuentes de energía renovable menos conocida. Se consideran renovables el conjunto de fuentes energéticas primarias que tienen su origen en la radiación solar, ya sea de forma directa o indirecta. La energía geotérmica se incluye en este último grupo, aunque a diferencia del resto, en que su origen proviene principalmente del calor interior de la Tierra. También cabe destacar que es un recurso inagotable ya que el calor de la Tierra es ilimitado a la escala humana y estará disponible en sus yacimientos para generaciones futuras, siempre que la explotación se haga de forma racional. En el caso de extraer agua subterránea ésta se renueva de manera natural o por inyección artificial, es decir devolviéndola al lugar de origen. Y si se emplean sondas geotérmicas el flujo de calor se compensa. [3]

El calor terrestre es una fuente de energía duradera para la producción de calor y de electricidad, que no depende de las condiciones climatológicas, de la estación anual, del momento del día ni del viento. La diversidad de temperaturas de los recursos geotérmicos permite un gran número de posibilidades de utilización. La energía geotérmica representa una respuesta local, ecológica y eficiente para reducir costes energéticos. Es una energía limpia ya que no precisa de quemar combustibles, lo cual no contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero.

Las instalaciones que emplean bombas de calor geotérmicas para calefacción, refrigeración y producción de agua caliente sanitaria sólo consumen energía eléctrica para el funcionamiento de los compresores eléctricos, de las bombas de circulación y de los ventiladores del interior del edificio. Las emisiones equivalentes de gases son únicamente las correspondientes a la producción en origen de esa energía, muy inferiores a las de los sistemas tradicionales, pues el consumo de electricidad se reduce notablemente. En cuanto a los refrigerantes empleados, los sistemas de refrigeración son sellados en fábrica, la cantidad es reducida y rara vez o nunca son recargados, por lo que no contribuyen a la destrucción de la capa de ozono. En el caso de las centrales se puede decir que emiten a la atmósfera pequeñas cantidades de CO₂, muy pequeñas cantidades de SO₂ y no emiten óxidos de nitrógeno. Para hacernos una idea de las cantidades que esto supone, una central de gas natural emite diez veces más. [5]

A diferencia de la energía solar o eólica, esta energía no depende del clima, de la radiación solar ni del viento, sino que prácticamente sólo depende de las características intrínsecas del subsuelo, constantes para cada caso concreto, lo que asegura una gran regularidad en su utilización. Está disponible 24 horas al día, los 365 días del año. Es una energía local, lo que reduce la dependencia de importaciones energéticas y asegura el abastecimiento, disminuye las pérdidas energéticas derivadas del transporte de electricidad y la contaminación que provoca el transporte de combustibles por carretera.

Un inconveniente de este tipo de energía si se compara con otras energías renovables, la cual es una causa por la que no está todavía muy extendida, es el elevado coste de inversión y la necesidad de una búsqueda de yacimientos geotérmicos en el caso de requerir gran cantidad de energía, para producir electricidad en una central, por ejemplo. Ya que para ello es necesario disponer de un recurso geotérmico de alta temperatura que se encuentra en determinadas zonas.

5 Fundamentos de la energía geotérmica

La energía geotérmica es la energía almacenada en forma de calor bajo la superficie del suelo. Engloba el calor almacenado en rocas, suelos y aguas subterráneas, cualquiera que sea su temperatura, profundidad y procedencia, no incluyendo el calor contenido en masas de agua superficiales, continentales o marinas. Sin embargo, el calor contenido en las rocas y suelos es demasiado difuso para ser extraído directamente de forma económica, siendo necesario disponer de un fluido, generalmente agua, para transportar el calor hacia la superficie de forma concentrada, mediante sondeos, colectores e intercambiadores. Una vez en la superficie, el fluido geotermal, en función de su contenido en calor, se destinará a la producción de energía eléctrica si es posible o bien se aprovechará su calor directamente recurriendo al empleo de intercambiadores de calor o de bombas de calor si es necesario.

La corteza terrestre recibe energía en forma de calor proveniente de dos fuentes: el sol y el centro de la Tierra. Esto permite la clasificación de la energía, los recursos, los yacimientos y la ciencia que los estudia en dos grandes campos, la geotermia profunda y la somera o superficial. El límite entre ambos suele estar alrededor de los 400m de profundidad. [3]

- La geotermia profunda

Las grandes diferencias de temperatura entre la superficie de la tierra y las existentes en su interior originan un flujo continuo de calor hacia la superficie, estimándose que la energía que llega a la superficie terrestre en forma de calor por conducción, convección y radiación es de $42 \cdot 10^{12}$ julios/segundo.

- La geotermia superficial

La superficie de la tierra recibe del sol en forma de calor $2 \cdot 10^{17}$ julios/segundo, que es del orden de cuatro órdenes de magnitud superior al calor geotérmico. Esta energía penetra a escasa profundidad del subsuelo, contribuyendo a mantener la superficie del planeta a una temperatura promedio de 15°C y una parte es irradiada de nuevo al espacio, no interviniendo en los procesos energéticos que afectan al interior de la Tierra.

5.1 Gradiente térmico

El gradiente térmico es el incremento de la temperatura percibido por el subsuelo al profundizar desde la superficie de la corteza hacia las partes más interiores del globo.

El gradiente geotérmico observado en la mayor parte de la Tierra es de unos $2,5\text{-}3^{\circ}\text{C}$ cada cien metros. Esto quiere decir que a medida que se profundiza en el interior de la corteza, la temperatura se va incrementando a un ritmo de 25 a 30°C cada mil metros. Este se conoce como gradiente geotérmico normal (Figura 5). Éste varía en función de diversos factores como son la conductividad térmica de las rocas, el tipo de reacciones químicas que predominen en la zona, la presencia y concentración de elementos radioactivos que desprendan calor al desintegrarse, la proximidad de rocas volcánicas o la existencia de aguas termales en la zona.

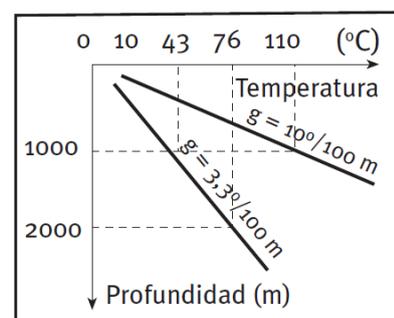


Figura 5. Gradiente geotérmico.
Fuente: Manual de la geotermia.

En regiones muy limitadas y específicas el gradiente es muy superior, se le denomina gradiente anómalo. Estas zonas se sitúan sobre áreas geológicamente activas de la corteza terrestre. [3]

5.2 Flujo de calor

El gradiente geotérmico permite estimar el flujo de calor que se transmite desde las zonas internas de la corteza hacia las externas. [3]

La conductividad térmica es una propiedad característica de cada material que indica su capacidad para conducir el calor, se expresa en $W/m^{\circ}C$. El producto de esta por el gradiente geotérmico proporciona el flujo de energía en forma de calor, por unidad de superficie y por unidad de tiempo. El flujo de calor terrestre es del orden de $60 mW/m^2$. En determinadas zonas con anomalías geotérmicas este valor alcanza el orden de centenas y hasta millares. [2]

5.3 Recursos y yacimientos geotérmicos

Se considera como recurso geotérmico a la fracción de calor desprendido desde el interior de la Tierra que puede ser aprovechado en las condiciones técnicas y económicas disponibles en ese momento. Por tanto, el yacimiento térmico es el espacio de la corteza terrestre en el que se localiza el recurso geotérmico susceptible de ser aprovechado por el hombre. [3]

Este concepto es muy amplio ya que engloba desde el calor que se puede encontrar en las capas más superficiales del suelo, en el que es el propio suelo el que actúa como una masa térmica, hasta el calor almacenado en rocas situadas a profundidades de hasta 10km. [5]

Los yacimientos geotérmicos convencionales se clasifican de acuerdo con los niveles energéticos de los recursos que albergan y se pueden clasificar en:

- Yacimientos de alta entalpía: cuentan con fluidos geotermales o rocas calientes a más de $150^{\circ}C$ de temperatura. Se encuentran en zonas geográficas con gradiente térmico elevado, hasta $30^{\circ}C/100m$. Se suelen explotar a profundidades comprendidas entre 1500 y 3000m. Permite transformar directamente el vapor de agua en energía eléctrica.
- Yacimientos de media entalpía: en los que los fluidos se encuentran a temperaturas entre los $100^{\circ}C$ y $150^{\circ}C$, permite su uso para producción de electricidad mediante ciclos binarios, tienen rendimientos algo inferiores a los de alta entalpía. Se encuentran en un gran número de zonas muy localizadas y a profundidades alrededor de los 2000m.
- Yacimientos de baja entalpía: cuando la temperatura del fluido está entre los $30^{\circ}C$ y $90^{\circ}C$, su aplicación son los usos directos del calor; calefacción, procesos industriales, ACS, etc. Suele encontrarse en cuencas sedimentarias a una profundidad entre los 1500m y 2500m.
- Yacimientos de muy baja entalpía: en este caso la temperatura es menor de $30^{\circ}C$, puede ser utilizada para calefacción y climatización mediante una bomba de calor. A partir de 10m de profundidad el subsuelo es capaz de almacenar el calor y retenerlo a una temperatura prácticamente constante durante todo el año.

5.4 Tecnologías de aprovechamiento

Como ya se ha comentado anteriormente, el tipo de recurso geotérmico (alta, media o baja entalpía) determina sus posibilidades de aprovechamiento, las cuales varían en función de las tecnologías disponibles en cada momento.

Las dos aplicaciones principales de esta energía son las siguientes:

- Producción de electricidad; mediante los recursos geotérmicos de alta y media entalpía. Existen tres tipos de plantas para generar energía eléctrica procedente de recursos geotérmicos, en función de las características y la naturaleza del fluido geotermal disponible y de su profundidad:
 - Plantas de vapor seco, que utilizan un flujo directo de vapor geotérmico. El fluido que llega a la superficie, procedente de las fracturas del suelo, es vapor en estado de saturación que se dirige directamente a una turbina para producir electricidad. Los costes de producción de la planta, al generarse electricidad de forma directa, resultan muy bajos. Generalmente el vapor condensado se inyecta en el yacimiento de nuevo para mantener la reserva geotérmica.
 - Plantas flash, emplean una mezcla de agua líquida y vapor. Son las más habituales. El fluido llega a la superficie a una presión que depende del pozo y de la temperatura del estado de saturación, por lo que es preciso separar ambas fases. La fracción de vapor resultante se envía a una turbina para producir electricidad y la fracción líquida que se rechaza, pero puede utilizarse en otras aplicaciones como agricultura y procesos de calor industriales. Esta técnica es conocida como 'producción en cascada' y el ciclo puede contar con una o varias etapas.
 - Plantas de ciclo binario, que funcionan como sistemas de circuito cerrado que aprovechan recursos de media temperatura. Emplean el ciclo Rankine. No se dan las condiciones óptimas de vapor a presión para producir energía directamente, pero sí se encuentran a una temperatura lo bastante elevada como para producir electricidad mediante un intercambiador que incorpora un segundo fluido un vapor a alta presión capaz de mover un sistema turbina-generador.

También hay que considerar las plantas de ciclo combinado que aprovechan los beneficios de las tecnologías binaria y flash como se ve en la Figura 6. [4]

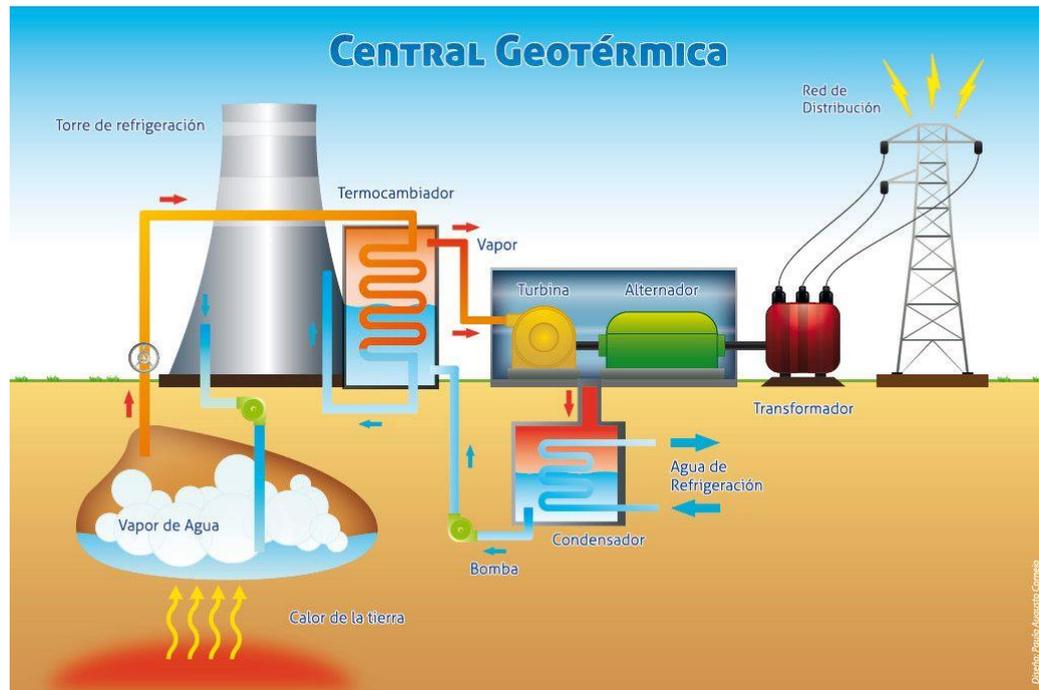


Figura 6. Central geotérmica. Fuente: Google Fotos.

- Usos directos del calor; calefacción y refrigeración, redes de climatización de distrito, ACS y aplicaciones en agricultura, acuicultura, procesos industriales y balneoterapia, para los recursos de baja y muy baja entalpía. [3] [5]

Las tecnologías para aprovechar esta energía almacenada en los primeros metros de la corteza terrestre son básicamente dos:

- La bomba de calor geotérmica. Extrae el calor del subsuelo a una temperatura relativamente baja, aumentándola, mediante un consumo de energía eléctrica para posibilitar el uso posterior en sistemas de calefacción. En verano se invierte el proceso, inyectando en la tierra el calor absorbido en la refrigeración de la instalación a climatizar, en la Figura 7 se ve el esquema de funcionamiento de ambos modos. Funcionan del mismo modo que las bombas de calor convencionales (aire-aire y aire-agua) de manera que pueden calefactar, refrigerar y proporcionar ACS, pero con mayor eficacia que estas gracias al gradiente térmico. En general utilizan entre un 25% y un 50% menos de electricidad que los sistemas convencionales.

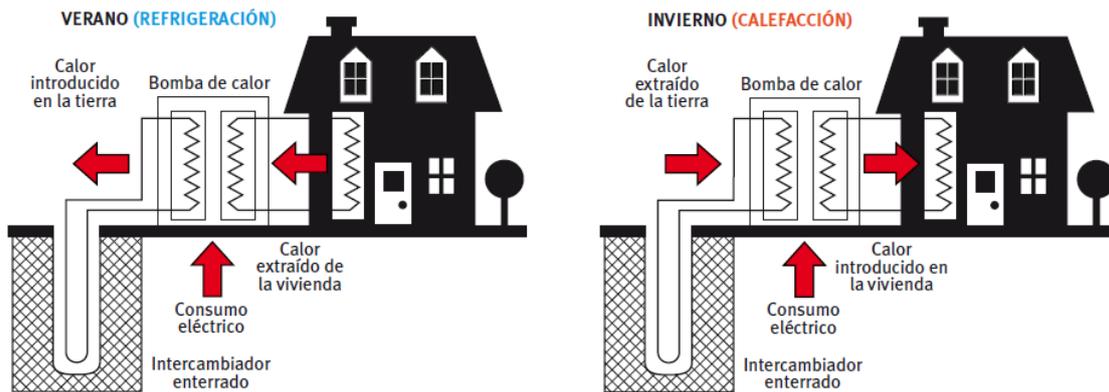


Figura 7. Esquema de funcionamiento de la bomba de calor geotérmica. Fuente: Guía técnica del diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado (IDAE).

- El almacenamiento subterráneo de energía térmica. En ellos se almacena calor, frío o ambos bajo tierra. Hay de dos tipos; almacenamiento en acuíferos, en los que el agua subterránea es el medio de transporte del calor y almacenamiento en perforaciones, éstos incluyen perforaciones y tuberías, y requieren un terreno con alto calor específico, conductividad térmica y ausencia de flujo de aguas subterráneas.

5.5 Bomba de calor geotérmica

Una bomba de calor es una máquina que transfiere el calor desde un foco frío a otro caliente utilizando una cantidad de trabajo relativamente pequeña. La ventaja que poseen las bombas de calor frente a otros sistemas reside en su capacidad para aprovechar la energía existente en el ambiente (foco frío), tanto en el aire como en el agua o en la tierra, y que le permite calefactar las dependencias interiores (foco caliente) con una aportación relativamente pequeña de energía eléctrica. La bomba también puede trabajar en modo refrigeración, realiza la transferencia de calor en sentido inverso, desde el recinto que requiere frío hacia el ambiente que se encuentra a temperatura superior. [1]

La bomba de calor geotérmica extrae la energía del suelo en invierno transfiriéndola al interior y en verano extrae el calor del interior y lo devuelve al subsuelo. Su aplicación fundamental es en instalaciones domésticas y comerciales, para agua caliente sanitaria y calefacción, de pequeña y mediana potencia. Además, destacan por su capacidad de integración con otras fuentes de energía renovables. La bomba de calor geotérmica se complementa muy bien con los paneles solares. En algunos casos se combina de manera que la energía solar aporta la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de los compresores y bombas de presión.

Las instalaciones para climatización de edificios se diseñan para condiciones extremas. En climas con variaciones de temperatura importantes, las bombas de calor geotérmicas tienen mejores prestaciones que las bombas de calor que utilizan el aire exterior. Esto es debido a que el rendimiento baja considerablemente frente a temperaturas extremas en el caso de estas últimas. De hecho, la tecnología que emplean las bombas de calor geotérmicas ha sido calificada por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos como la más eficiente para calefacción y refrigeración existente a día de hoy. [5]

Existen diversos sistemas de intercambio de calor asociados a la bomba de calor geotérmica. En primer lugar, cabe distinguir entre los sistemas de circuito abierto y los sistemas de circuito cerrado. En los primeros se realiza la captación de un recurso hídrico (normalmente un acuífero) para intercambiar calor devolviéndose posteriormente a su origen. En los circuitos cerrados es un fluido caloportador dentro de una tubería el que realiza el intercambio, generalmente con el suelo. También existen las cimentaciones termoactivas, en las que se aprovecha la propia estructura del edificio para ubicar las tuberías de intercambio de calor, en pilotes, pantallas, muros o losas, por ejemplo. [5]

En el caso de los circuitos cerrados, según estén situados los intercambiadores en el subsuelo, se pueden distinguir dos tipos de instalaciones;

- Intercambiadores verticales, instalados en posición vertical, los intercambiadores se encuentran en el interior de uno o varios sondeos, son tuberías de polietileno en cuyo interior se encuentra el fluido de intercambio térmico, a una profundidad frecuentemente entre los 50 y 100 metros.
- Intercambiadores horizontales, consiste en bucles o redes de tuberías de polietileno enterradas horizontalmente a poca profundidad, entre 1 y 2 metros, y por tanto tienen una pequeña variación de las condiciones de temperatura en las distintas épocas del año, si bien esto tiene poca influencia cuando se usa la bomba de calor en modo reversible. [3]

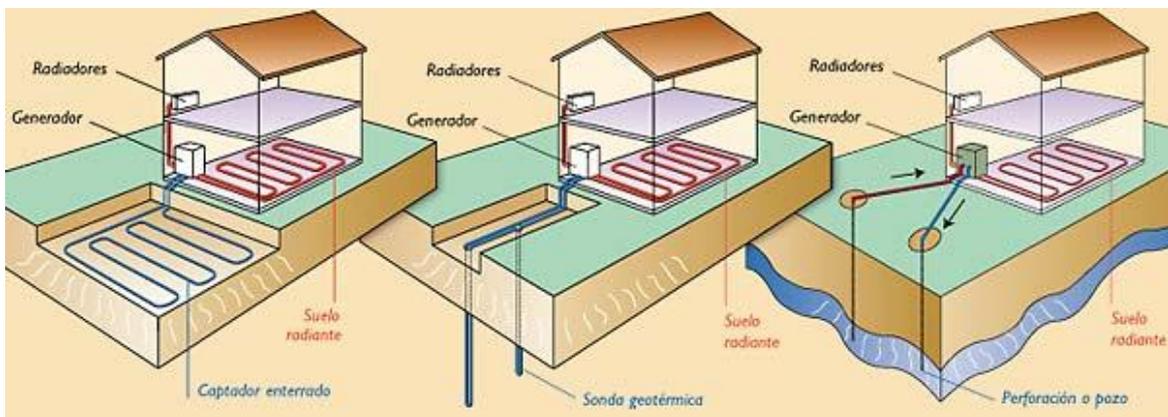


Figura 8. Esquema de tipos de instalaciones de intercambiadores enterrados. Fuente: Google fotos

En la Figura 8 aparecen los tipos de sistemas comentados; intercambiadores de circuito cerrado, horizontal o vertical e intercambiador de circuito abierto con captación a partir de un acuífero.

Otra característica favorable a este tipo de instalaciones es la posibilidad de utilizarlos como almacenamiento de energía, almacenando en el subsuelo calor en verano y frío en invierno, lo que puede mejorar aún más la eficiencia energética.

5.6 Componentes y funcionamiento bomba de calor

La bomba de calor funciona con un fluido refrigerante que cambia de estado a medida que pasa por los diferentes componentes de la instalación intercambiando calor donde se necesite.

Los componentes principales de una bomba de calor son: el evaporador, compresor, condensador y descompresor.

En los siguientes puntos se expone el funcionamiento de la bomba de calor en sus dos modalidades; para calefacción y refrigeración.

5.6.1 Funcionamiento del sistema para generar calor:

El fluido (mezcla con anticongelante) contenido en las sondas de captación enterradas absorbe el calor del terreno aumentando su temperatura hasta unos 15°C aproximadamente.

A continuación, se pone en contacto, a través de un intercambiador de calor, con el fluido refrigerante que circula por el evaporador. El fluido de la sonda está más caliente, por lo que el fluido frigorífico se calienta y evapora al pasar por el evaporador.

Seguidamente el fluido frigorífico pasa al compresor, el cual accionado con energía eléctrica, aumenta la presión del fluido, lo que produce un incremento de la temperatura del vapor del refrigerante hasta 50-60°C.

El fluido caliente llega al condensador, donde este se encarga de transferir el calor producido por la bomba de calor al fluido del circuito de calefacción o ACS.

El último paso para cerrar el ciclo es volver a la presión inicial, esto se produce en la válvula de expansión, a través de ella, el fluido pierde presión y en consecuencia también pierde temperatura antes de volver al evaporador para extraer el calor del subsuelo. [12].

En la Figura 9 se ve un esquema del circuito explicado.

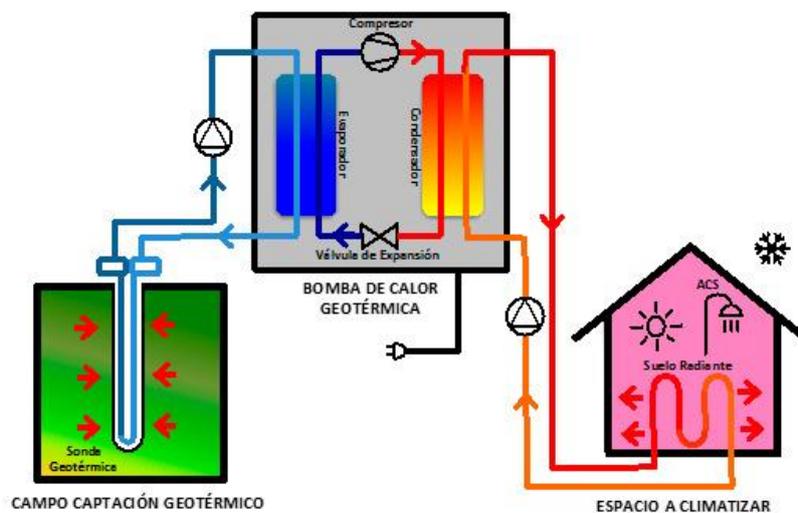


Figura 9. Esquema de funcionamiento de la bomba geotérmica en modo calefacción.
Fuente: Google Fotos.

5.6.2 Funcionamiento del sistema para generar frío:

El fluido de las sondas de captación entra caliente al suelo y se enfría al entrar en contacto con el terreno que está a menor temperatura.

El fluido ahora frío se utiliza a continuación para enfriar el fluido frigorífico que circula por el condensador. Este último se encuentra en fase vapor a alta presión y temperatura a la entrada del condensador, cede calor al fluido que circula por las sondas, de forma que se enfría y condensa.

El siguiente paso es la válvula de expansión donde se baja la presión, lo que produce una bajada de temperatura del fluido refrigerante.

Este fluido ya frío pasa por el evaporador, donde enfría el sistema de refrigeración eliminando el calor sobrante de las instalaciones que se desea refrigerar. En este proceso el fluido se calienta y se evapora.

Por último, el fluido refrigerante entra al compresor de manera que aumenta la temperatura y vuelve a empezar el ciclo desde el condensador. [12]

En la Figura 10 se ve un esquema del circuito explicado.

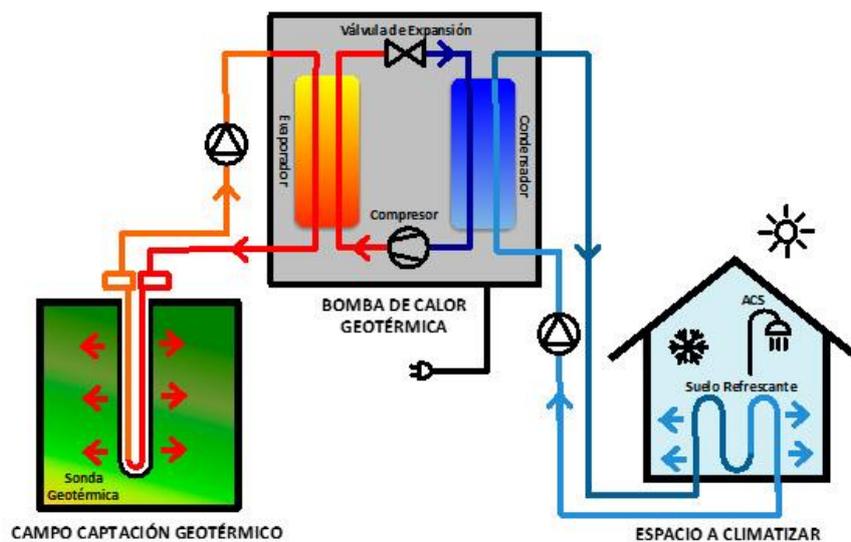


Figura 10. Esquema de funcionamiento de la bomba geotérmica en modo refrigeración.
Fuente: Google Fotos.

Como se observa el funcionamiento de la bomba en verano y en invierno es muy similar, intercambiándose la función condensador- evaporador según la época del año.

En las bombas de calor reversibles, como es este caso, la válvula inversora o de 4 vías, es la encargada de invertir el ciclo, de manera que el intercambiador interior que actúa como evaporador en ciclo de producción de frío, pasa a actuar como condensador en el ciclo de producción de calor, y el intercambiador exterior que actúa como condensador en ciclo de producción de frío, pasa a hacerlo como evaporador en ciclo de producción de calor. [26]

6 Descripción de la vivienda y condiciones del terreno

6.1 Ubicación de la vivienda

La vivienda del caso de estudio se localiza en una parcela del municipio de Boecillo, en la provincia de Valladolid, comunidad autónoma de Castilla y León. Concretamente en las siguientes coordenadas: 41°32'49.7"N 4°41'50.7"W. [13]

En la Figura 12 y Figura 11 se muestran unos planos de la localización.



Figura 12. Mapa satélite de España. Fuente: Google Maps.

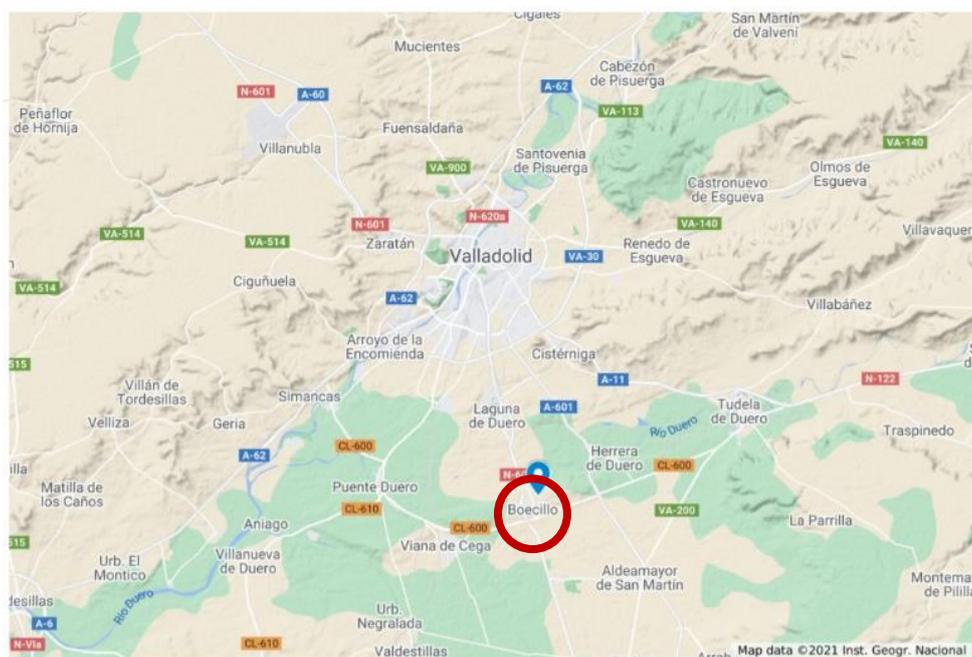


Figura 11. Mapa en relieve de detalle de la provincia de Valladolid. Fuente: Google Maps.

En la Figura 13 se ve la parcela en vista de satélite.

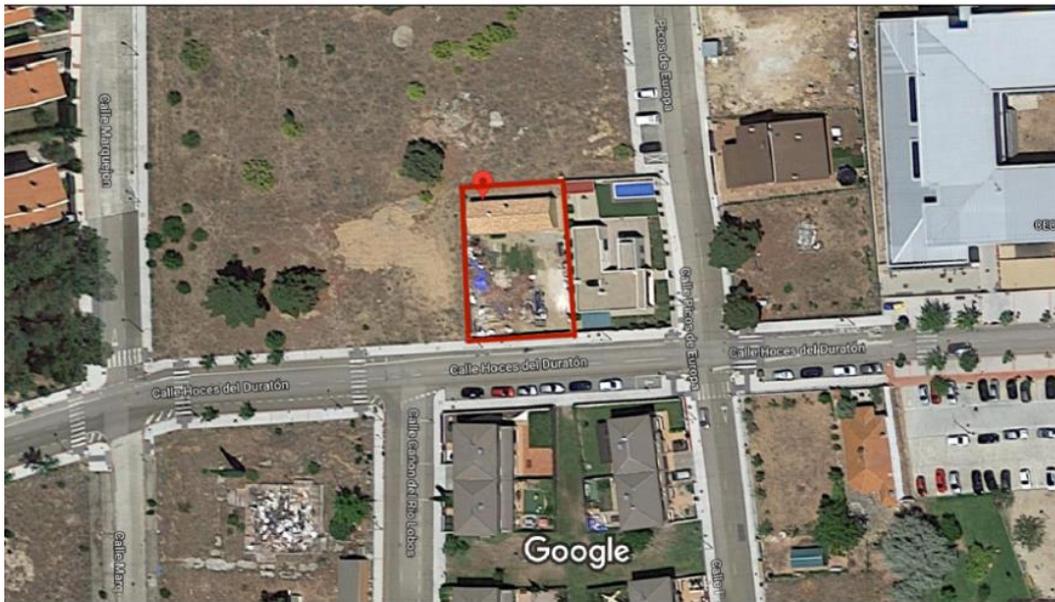


Figura 13. Vista satélite de la parcela de la vivienda unifamiliar situada en Boecillo. Fuente: Google Maps.

6.2 Distribución de la vivienda

La parcela cuenta con 600m². La vivienda unifamiliar consta de una única altura de 153,70 m². Se habilitará la climatización para 115,65 m². Se excluye de dicha climatización el garaje, el porche de acceso y la galería. La parcela tiene forma rectangular y está situada acorde a los cuatro puntos cardinales. La parte para climatizar de la vivienda tiene forma de L invertida, con una cara norte y un amplio lateral cara al oeste.

La Tabla 1 contiene el conjunto de estancias que tiene la vivienda y la superficie de cada una de ellas.

Recinto	Superficie (m ²)
Garaje	34,55
Porche de acceso	9,55
Vestíbulo	7,35
Aseo	1,85
Salón-comedor	34,10
Cocina	16,55
Lav+desp	3,50
Baño 1	4,35
Distribuidor	10,15
Baño 2	5,60
Habitación	14,00
Dormitorio	13,35
Vestidor	8,35
Total	163,25
Climatizados	115,65

Tabla 1. Superficie por recinto de la vivienda. Fuente propia.

A continuación, se expone el plano de la vivienda en la Figura 14. En él se incluye la identificación de cada estancia y la superficie.

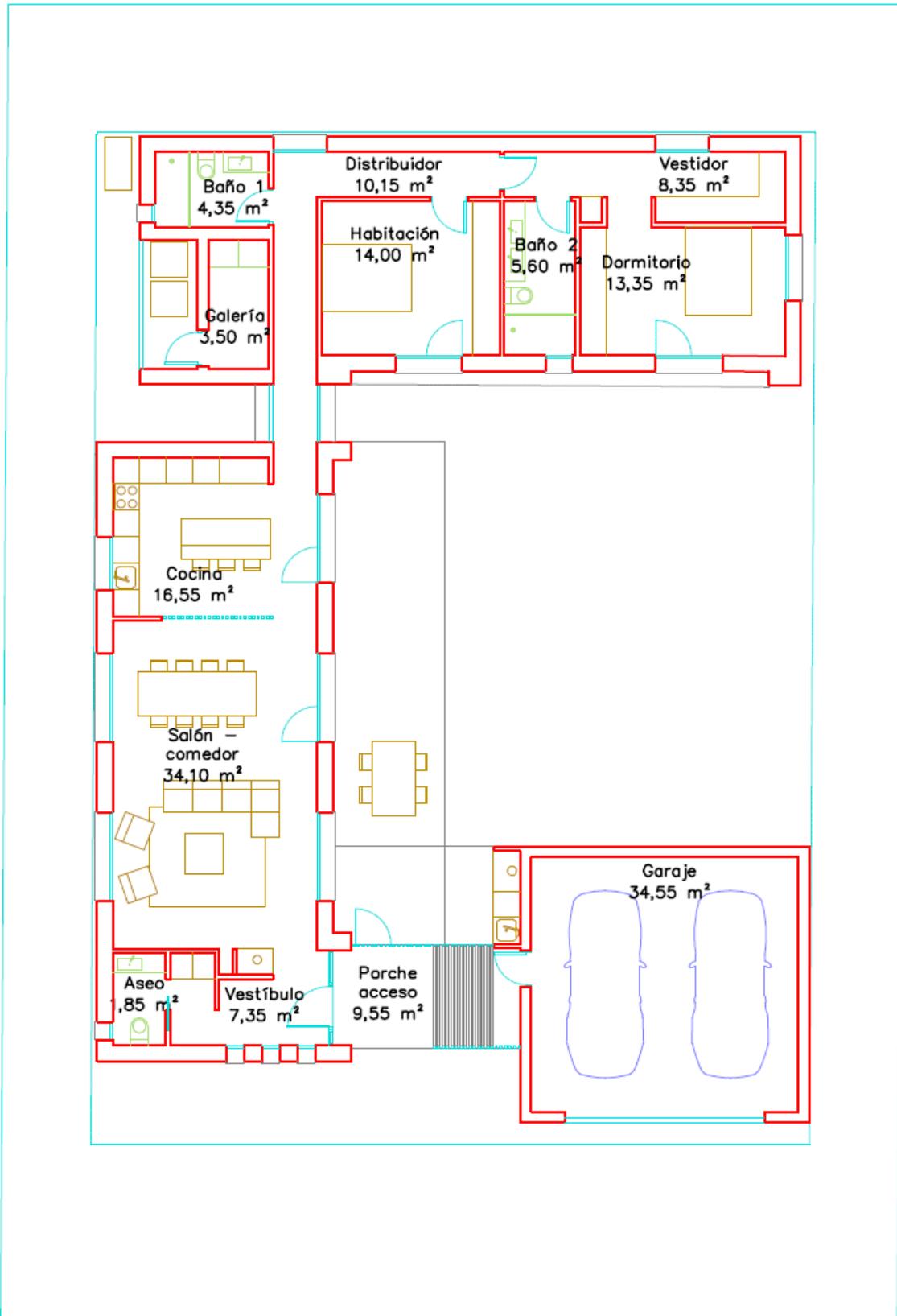


Figura 14. Plano de la vivienda. Fuente propia.

6.3 Condiciones climatológicas

El clima de Castilla y León es mediterráneo continentalizado, con inviernos largos y fríos, con temperaturas medias entre 4 y 7 °C en enero y veranos cortos y calurosos, con una media de 22°C. Los periodos primaverales y otoñales son cortos.

En los meses de diciembre y enero es cuando se alcanzan las temperaturas más bajas de todo el año, pueden descender hasta los -5 o -7°C.

En verano la oscilación térmica entre el día y la noche es alta. Durante el día, las temperaturas máximas pueden llegar a los 35°C y por la noche bajar hasta los 15°C.

Las temperaturas máximas, mínimas y medias durante todo el año se muestran en la Figura 15 y en la

Tabla 2. [14]

Viendo el clima que presenta el emplazamiento de la instalación, observamos la necesidad de más horas de calefacción que de refrigeración. La notable diferencia de temperaturas que hay entre el exterior y la temperatura media del terreno primará el uso de la bomba de calor geotérmica frente a una bomba de calor de aerotermia, debido a que en climas con temperaturas extremas la eficiencia y el rendimiento es mayor para la bomba geotérmica.

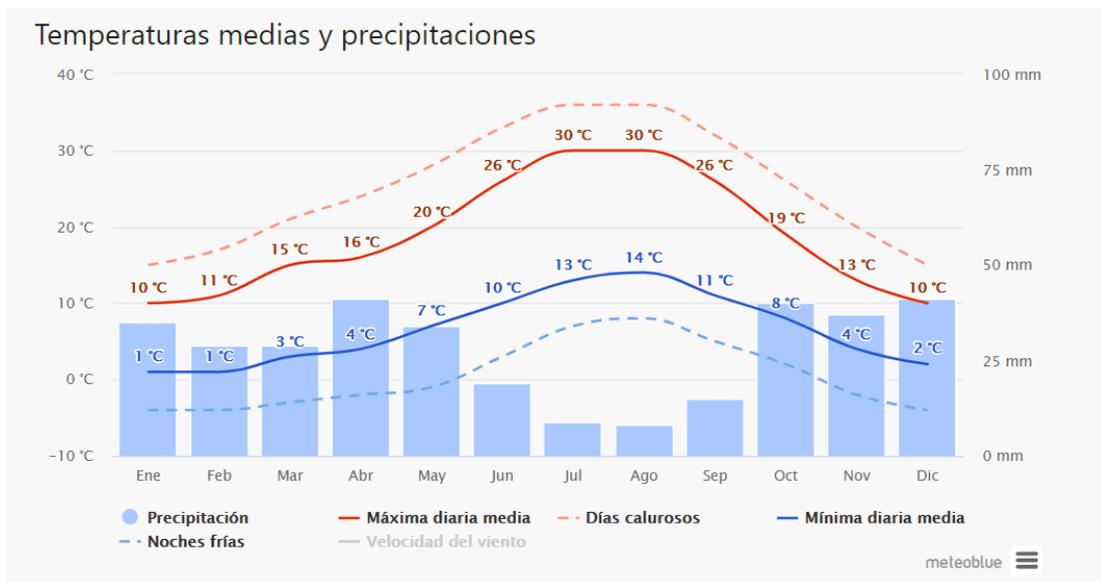


Figura 15. Evolución de las temperaturas máximas y mínimas mensuales de la provincia de Valladolid. Fuente: web de Meteoblue.

Tabla 2. Temperaturas medias mensuales de Valladolid. Fuente: propia.

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Año
Mínimas [°C]	0	1	3	5	8	12	14	14	11	8	4	1	6,8
Máximas [°C]	8	11	15	17	21	27	31	30	26	19	12	9	18,9
Media [°C]	4	6	9	11	14,5	19,5	22,5	22	18,5	13,5	8	5	12,8

6.4 Geología del terreno

Es necesario conocer las condiciones geológicas del emplazamiento para el diseño de la instalación geotérmica. El tipo de terreno condiciona el rendimiento de la bomba de calor y la eficiencia del intercambiador del sistema de captación. Lo ideal sería realizar un estudio in situ del terreno mediante una exploración y medición, pero al no ser posible se toman datos generales en la zona a partir de datos de la norma y mapas proporcionados por el Instituto Geológico y Minero MAGNA 50. [15]

El término municipal de Boecillo se extiende con una orografía con pequeñas ondulaciones entre los ríos Duero y el curso final del Cega, que desemboca muy cerca de la localidad. Se alza a 728 metros sobre el nivel del mar, a 14 km del centro de la capital vallisoletana.

A partir de la cartografía geológica publicada por el Instituto Geológico y Minero MAGNA 50, escala 1:50000 se ha obtenido la información geológica de la zona donde se encuentra la vivienda. [15]

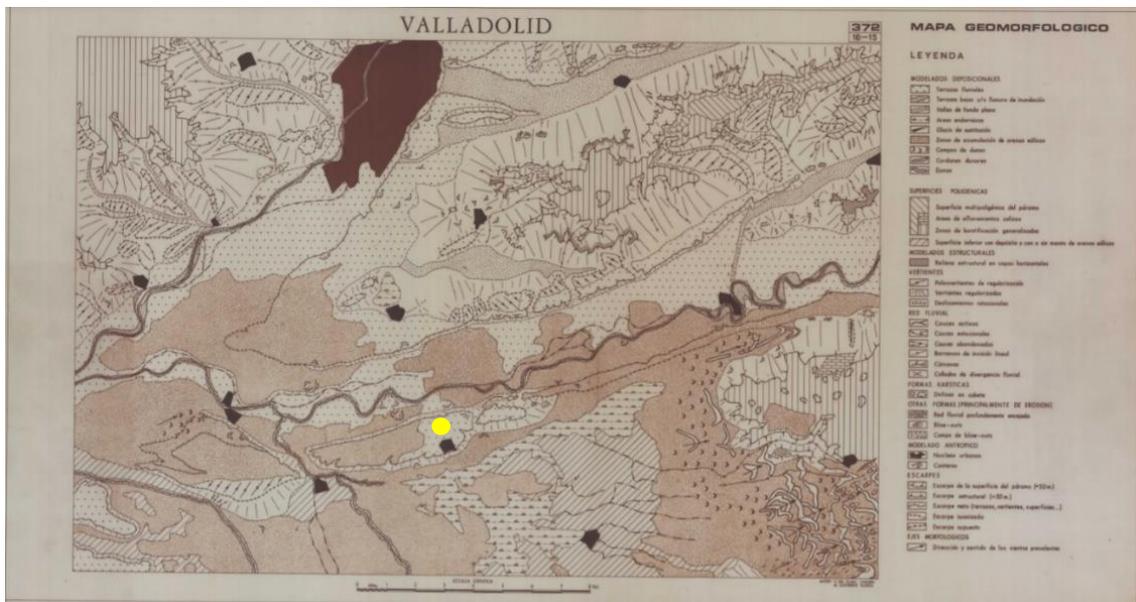


Figura 16. Mapa geológico de detalle de una zona de la provincia de Valladolid. Fuente: archivo de la web del Instituto Geológico y Minero de España.

Según la leyenda (la cual se puede ver en el anexo, apartado 2), los materiales que se encuentran en el terreno de la parcela son:

- Gravas cuarcíticas y de caliza con matriz limo arenosa.

Para los materiales citados, se emplearán los datos de conductividad indicados en la tabla de conductividades del Anexo F de la norma UNE 100715:1-2014 (anexo, apartado 8). En ella se proporcionan los valores de la conductividad térmica en W/mK y la capacidad térmica volumétrica en MJ/m³K para los diferentes tipos de terrenos comunes.

Para la elección de los valores de conductividad propuestos, se han escogido los valores conservadores, consecuencia de no tener un estudio detallado de los materiales del terreno in situ para la realización de los cálculos posteriores. En este caso, lo más adecuado es coger los valores mínimos de los intervalos para cada sustrato.

Hay materiales cuya conductividad cambia según el estado de humedad, para éstos se ha escogido los valores de conductividad cuando se encuentran en su fase húmeda considerándolos como sustrato fluvial debido a la proximidad de afluentes y torrentes del río Duero.

En la Tabla 3 se han recogido los valores de conductividad y capacidad térmica volumétrica del terreno donde se encuentra la instalación.

Tabla 3. Valores de conductividad térmica y capacidad volumétrica según el tipo de terreno. Fuente propia.

Tipo de terreno	Conductividad térmica (W/m*K)	Capacidad volumétrica MJ/(m ³ *K)
Grava seca	0,5	1,3
Caliza	2	2,1
Limo seco	0,8	1,5
Arena húmeda	1	1,6

Como cada sustrato tiene una conductividad y capacidad térmica diferente se ha realizado la media ponderada, quedando los siguientes valores para el terreno de estudio:

- Conductividad térmica: 1,075 W/m·K
- Capacidad térmica volumétrica: 1,625 MJ/(m³·K).

Con estos datos se puede calcular la difusividad térmica media del terreno como el cociente entre la conductividad térmica y la capacidad volumétrica.

- Difusividad térmica: 6,6153·10⁻⁷ m²/s.

6.5 Estimación temperatura del terreno

A una determinada profundidad el gradiente térmico es constante y no depende de las variaciones climáticas.

A continuación, se procede a hacer una estimación de ese gradiente térmico para el terreno de Boecillo. Conociendo de esta manera la temperatura media del terreno a la profundidad donde es constante y realizar el dimensionado del intercambiador geotérmico.

Con la expresión descrita por Kusuda y Achenbach, [1] suponiendo un suelo homogéneo con propiedades térmicas constantes, se puede calcular la temperatura a cualquier profundidad z.

$$T(z, t) = T_m - A_s \cdot e^{-z \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot \alpha}}} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{365} \cdot \left(t - t_0 - \frac{z}{2} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot \alpha}}\right)\right) \quad (1)$$

Donde,

T(z,t) es la temperatura en °C del suelo en el tiempo t a una profundidad z.

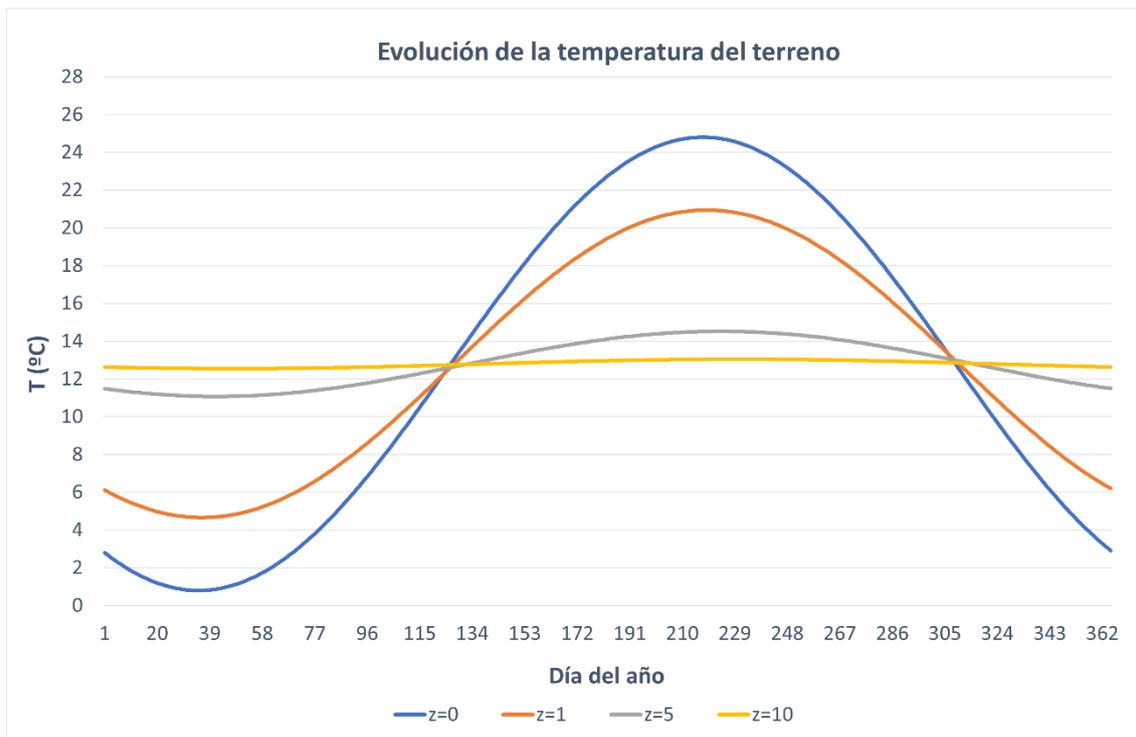
- T_m es la temperatura media anual del suelo en °C a una profundidad donde no son perceptibles las variaciones de temperatura. Como es difícil de conocer, se toma la temperatura media anual del aire ambiente sobre la superficie del terreno.
- A_s corresponde con la oscilación de la temperatura superficial en °C. Este valor se puede obtener a partir del mapa de oscilaciones térmicas de la península Ibérica que se adjunta en el primer apartado del anexo.
- t es el tiempo en días, medido desde el día 1 de enero hasta el 31 de diciembre.
- t_0 es el desfase en días.
- α es la difusividad térmica del suelo en $m^2/día$, calculada en el punto 6.4 a partir de los datos de conductividad térmica del terreno.

Los datos que se emplean en el cálculo, dependientes del clima, de la localización y del tipo de suelo, han sido recogidos en la Tabla 4.

Tabla 4. Tabla de datos. Fuente propia.

Datos	
T_m [°C]	12,8
A_s [°C]	12
α [$m^2/día$]	0,05715692
t_0 [días]	35

A partir de estos datos, empleando la fórmula (1) se obtiene la Gráfica 1. Se ha calculado la temperatura del terreno para cuatro profundidades distintas; en superficie, a 1 metro, a 5 metros y hasta 10 metros de profundidad.



Gráfica 1. Evolución anual de las temperaturas del terreno a distintas profundidades. Fuente propia.

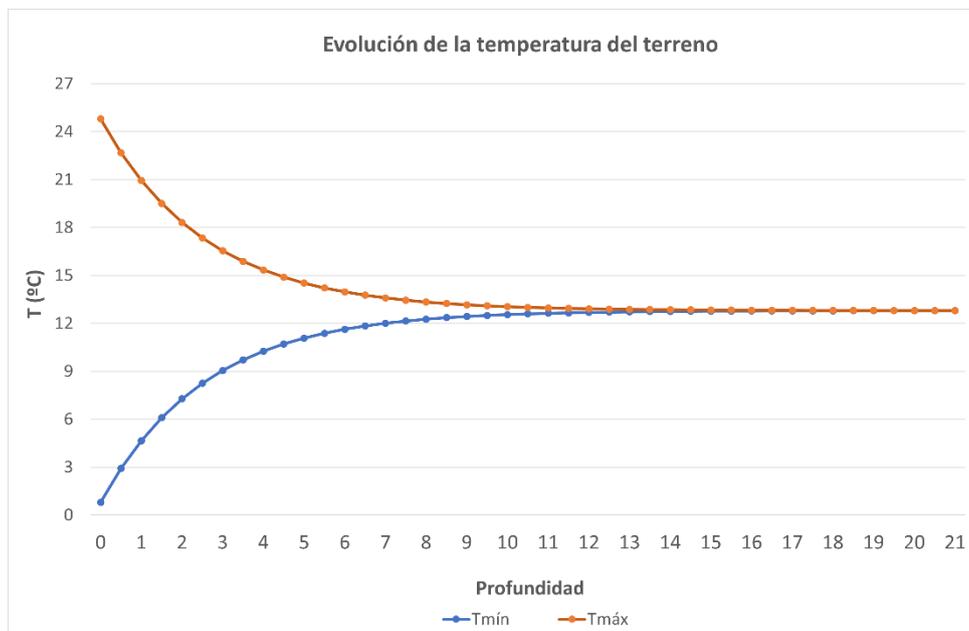
En la Gráfica 1. Para una profundidad de 10 metros la temperatura se mantiene constante alrededor de un mismo valor para cualquier día del año, a medida que disminuye esta profundidad la temperatura en los diferentes niveles sufre variaciones a lo largo del año, alejándose de valores constantes.

También se evalúan las temperaturas mínimas y máximas por cada medio metro desde la superficie hasta una profundidad de 21 metros a partir de las siguientes expresiones:

$$T(z, t) = T_0 - A_0 \cdot e^{-z \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot \alpha}}}$$

$$T(z, t) = T_0 + A_0 \cdot e^{-z \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot \alpha}}}$$

Los resultados aparecen representados en la Gráfica 2.



Gráfica 2. Evolución de las temperaturas máximas y mínimas según la profundidad. Fuente propia

Como se puede observar en la Gráfica 2, las temperaturas máximas y mínimas tienden a un valor constante de 12,8 °C. Esto sucede a partir de los 15 metros de profundidad aproximadamente.

Se constata que a partir de una determinada profundidad la temperatura no se ve afectada por las condiciones climatológicas exteriores.

7 Cálculo de cargas térmicas y demanda energética

7.1 Cargas térmicas

La carga térmica se define como la cantidad de calor que se tiene que suministrar o extraer del edificio para mantener la temperatura y la humedad constante igual a un valor prefijado.

Sirven para dimensionar y seleccionar la bomba de calor. Están basadas en estándares o condiciones para una localización concreta en el día y la hora más desfavorable de funcionamiento, y se dan como valores de potencia. [2]

Este análisis se realiza repartiendo la vivienda en zonas y calculando en cada una de ellas las cargas térmicas.

Para el cálculo de las cargas térmicas y la demanda energética se ha empleado el software CLIMA V2, diseñado por la Universidad Politécnica de Valencia. Es un software de simulación térmica de edificios que cuenta con bases de datos normalizadas para las condiciones térmicas exteriores, datos de materiales utilizados en programas oficiales de certificación energética de edificios y permite incorporar otras variables.

En el cálculo de las necesidades térmicas de la vivienda se consideran los siguientes factores:

- Materiales de construcción de la envolvente del edificio y orientaciones.
- Factor solar de los vidrios.
- Influencia de los edificios del entorno (zonas de sombra). En este proyecto, no existen viviendas alrededor que ejerzan esta acción, por lo que no se considera este factor.
- Horario de trabajo de los subsistemas de climatización.
- Ganancias internas de calor debidas a los ocupantes, iluminación y equipamiento.
- Ventilación e índice de renovación del aire.

Éstos se encuentran más detallados en los puntos que aparecen a continuación.

En la entrada de datos del programa se han añadido las estancias en las que está dividida la vivienda y sus volúmenes. En cada una se han incorporado los muros con sus respectivos cerramientos, ventanas y su orientación. El número de personas que habitan la casa es de cuatro y se han colocado en la estancia central.

Las condiciones ambientales fijadas dentro de la vivienda serán:

Tabla 5. Condiciones ambientales.

	Verano	Invierno
Temperatura seca [°C]	25	21
Humedad relativa [%]	50	40

La superficie total acondicionada con ventilación directa son 115,65 m² con un volumen de aire de 346,95 m³. Los recintos para climatizar son los que aparecen en la Tabla 6.

Tabla 6. Superficie de los recintos a climatizar. Fuente propia.

Recinto	Superficie (m ²)
Vestíbulo	7,35
Baño 1	4,35
Salón-comedor	34,10
Cocina	16,55
Aseo	1,85
Habitación	14,00
Dormitorio	13,35
Vestidor	8,35
Distribuidor	10,15
Baño 2	5,60

7.1.1 La envolvente térmica

La vivienda está formada por muros exteriores, particiones interiores, el suelo en contacto directo con el terreno, el techo formado por un forjado al exterior y las ventanas en los muros exteriores.

A continuación, se exponen los cerramientos que componen esta envolvente; cada uno presenta unas características de construcción que aparecen mostradas en la Tabla 7.

Tabla 7. Propiedades de la envolvente térmica.

Nombre	Capas	Transmitancia [W/m ² K]
Muro exterior	Mortero de cemento (1.5cm)	0,66
	Ladrillo perforado (11.5cm)	
	Aislante (3.9cm)	
	Ladrillo hueco (4.0cm)	
	Enlucido de yeso (1.5cm)	
Techo exterior	Plaqueta o baldosa ceramica (1.5cm)	0,38
	Mortero de cemento (1.5cm)	
	Aislante (8.9cm)	
	Hormigón con áridos ligeros (7.0cm)	
	Forjado cerámico (25.0cm)	
Suelo terreno	Plaqueta o baldosa ceramica (1.5cm)	0,49
	Mortero de cemento (1.5cm)	
	Aislante (7.1cm)	
	Solera de hormigón armado (20.0cm)	
Muro interior	Enlucido de yeso (1.5cm)	0,99
	Tabicón de ladrillo hueco doble (7.0cm)	
	Aislante (1.5cm)	
	Tabicón de ladrillo hueco doble (7.0cm)	
	Enlucido de yeso (1.5cm)	
Muro otro	Enlucido de yeso (1.5cm)	0,58
	Tabicon de ladrillo hueco doble (7.0cm)	
	Poliestireno Expandido [0.037 W/[mK]] (4.0cm)	
	Tabicon de ladrillo hueco doble (7.0cm)	
	Enlucido de yeso (1.5cm)	

La propiedad térmica del cerramiento es la transmitancia, depende de las características constructivas y de su espesor. Será de gran importancia para el cálculo de cargas térmicas y demanda energética. [2]

Para el caso de la localidad de Boecillo en la provincia de Valladolid, le corresponde la zona climática D2 según el Anejo B del CTE (anexo, apartado 6). Los valores de la Tabla 7 se encuentran dentro de los límites de transmitancia establecidos para la zona climática donde se encuentran según la tabla 3.1.1 del CTE (anexo, apartado 7).

"Muro otro" se refiere al muro que comparten el aseo y la galería, es diferente al resto debido a que la galería no es un recinto climatizado, pero tampoco se considera exterior.

En cuanto a los huecos de la vivienda, corresponden con ventanas exteriores con las características de la Tabla 8.

Tabla 8. Propiedades de los huecos.

Nombre	Composición	Factor solar	Transmitancia [W/m ² K]
Ventana exterior	Vidrio doble	0,45	2,50

El valor de la radiación transmitida depende fundamentalmente del factor solar del vidrio, que se define como el ratio entre la energía total que entra a través del acristalamiento y la energía solar que queda reflejada por la superficie exterior del cristal. [2]

Para estas ventanas solo el 45% de la radiación atraviesa el vidrio.

Algunos datos más específicos que se han tenido en cuenta en el cálculo de las cargas térmicas se pueden ver en el apartado 3 del anexo.

Con todos estos datos de inicio se procede a analizar el informe de las cargas térmicas en los siguientes puntos.

7.1.2 Cargas térmicas de refrigeración

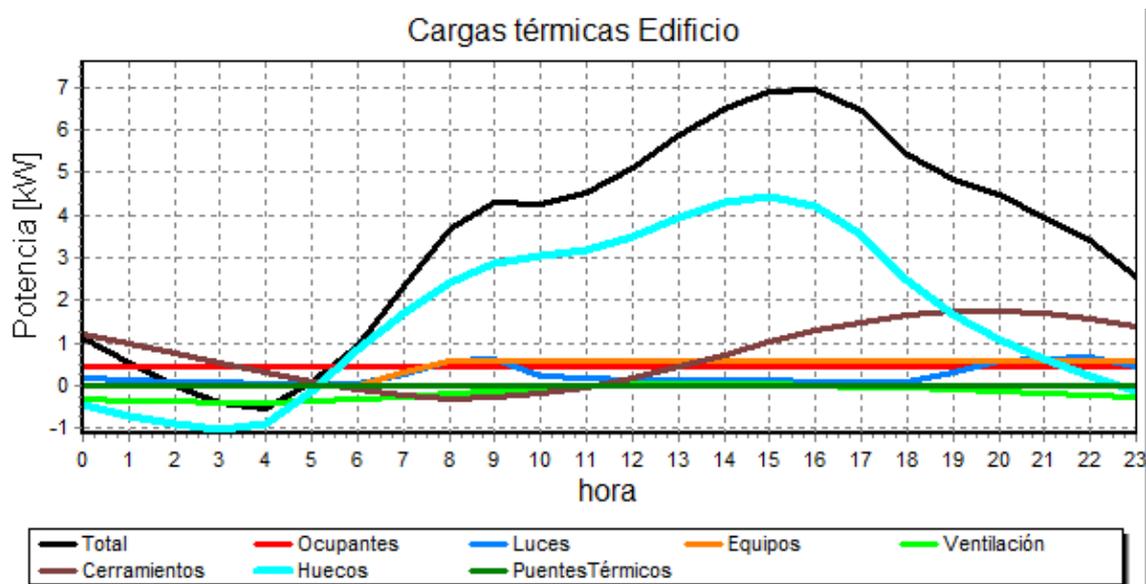
En el cálculo de cargas para dimensionar el sistema de refrigeración, se considerarán las siguientes cargas térmicas:

- Cargas por transmisión en los cerramientos.
- Cargas por ventilación.
- Cargas por transmisión en los huecos (ventanas).
- Cargas internas por ocupación.
- Cargas internas por iluminación y equipos.

Los resultados obtenidos son los que se muestran en la Tabla 9.

	Total
Total Cargas [kW]	6.91
Ratio [W/m ²]	59.78
Ocupantes [kW]	0.43
Luces [kW]	0.11
Equipos [kW]	0.58
Ventilación [kW]	0.00
Cerramientos [kW]	1.27
Huecos [kW]	4.19
Puentes térmicos[kW]	0.00
Mayoración [kW]	0.33

Tabla 9. Cargas térmicas de refrigeración. Fuente propia.



Gráfica 3. Reparto de cargas térmicas de refrigeración de la vivienda unifamiliar. Fuente propia.

Las cargas de la Tabla 9 corresponden con el día más caluroso del año y a la hora de más calor, en este caso para Valladolid se determina para el día 16 de julio a las 16:00h.

En la Gráfica 3, con las cargas de refrigeración se puede deducir que por donde más flujo de calor accede a la vivienda es por la superficie de las ventanas, pero hay una dispersión muy amplia de valores en función de la hora del día para este elemento. Durante la noche se mantiene en valores muy bajos, hasta el punto de convertirse en cargas negativas debido a al descenso de temperatura propio de la climatología de la zona, por el contrario, a medida que avanza hacia las primeras horas del día, va aumentando la carga térmica a causa de la radiación solar hasta alcanzar un punto máximo a las 15h, con una carga de 4 kW en el que se encuentra la temperatura deseada. Los cerramientos, en cambio, presentan valores menos variables a lo largo del día, requiriendo como máximo 2 kW. Del resto de cargas térmicas, destaca el calor

producido por las personas el cual iguala o supera en ocasiones al producido por los equipos, aunque se encuentra muy por debajo de las cargas de los cerramientos y ventanas.

7.1.3 Cargas térmicas de calefacción

En el cálculo de cargas para dimensionar el sistema de calefacción se tendrán en cuenta fundamentalmente las siguientes cargas:

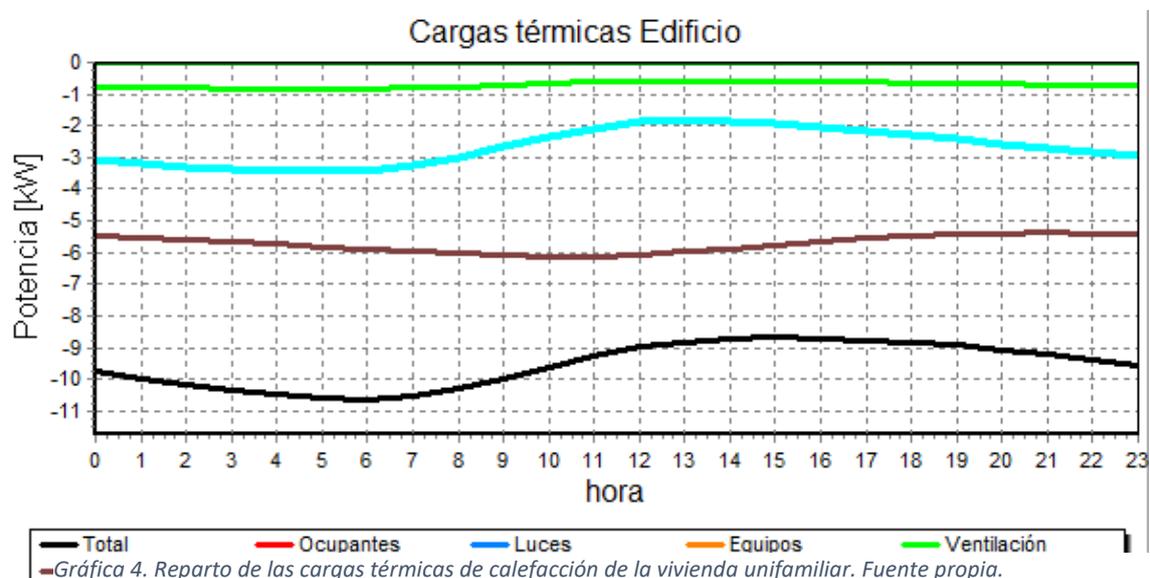
- Cargas por transmisión en los cerramientos.
- Cargas por ventilación.
- Cargas por transmisión en los huecos (ventanas).

Las cargas térmicas de calefacción aparecen como negativas en la Tabla 10.

	Total
Total Cargas [kW]	-10.67
Ratio [W/m ²]	-92.22
Ocupantes [kW]	0.00
Luces [kW]	0.00
Equipos [kW]	0.00
Ventilación [kW]	-0.83
Cerramientos [kW]	-5.90
Huecos [kW]	-3.43
Puentes térmicos [kW]	0.00
Mayoración [kW]	-0.51

Tabla 10. Cargas térmicas de calefacción. Fuente propia.

En la Tabla 10 aparecen las cargas correspondientes al día más frío del año para Valladolid y a la hora con menos temperatura, en este caso es para el día 6 de febrero a las 6:00h.



Como se observa en Gráfica 4, los cerramientos y ventanas son las principales vías de escape del calor. Se necesitan entre 5 y 6 kW de potencia según la hora del día para compensar las pérdidas que tienen los cerramientos. Por las ventanas hay pérdidas alrededor de 3 kW, cabe destacar que, en las horas de luz, la radiación solar aporta 1kW de potencia a nuestro favor.

Las cargas térmicas correspondientes a las luces, los ocupantes y los equipos no aparecen en estos cálculos debido a su efecto positivo en el acondicionamiento de la vivienda para el modo calefacción.

7.1.4 Resumen cargas térmicas

A continuación, en la Tabla 11, se muestra un resumen de todas las cargas térmicas contempladas en cada recinto de la vivienda.

Tabla 11. Reparto de cargas térmicas por recinto. Fuente propia.

Recinto	Carga térmica refrigeración (kW)	Carga térmica calefacción (kW)
Vestíbulo	0,57	-0,73
Aseo	0,13	-0,23
Salón-comedor	2,98	-3,00
Cocina	0,59	-1,09
Baño 1	0,20	-0,41
Distribuidor	1,33	-1,25
Baño 2	0,48	-1,94
Habitación	0,27	-0,68
Dormitorio	0,47	-0,93
Vestidor	0,25	-0,47
Total	6,91	-10,67

Finalmente, para el diseño de la instalación geotérmica se requiere:

- Carga térmica de refrigeración: 6,91 kW
- Carga térmica de calefacción: -10,67 kW

7.2 Agua Caliente Sanitaria

La demanda de Agua Caliente Sanitaria (ACS) para una vivienda unifamiliar para cuatro personas es de 28 litros/día por persona a una temperatura de 60°C [25]. Para la instalación geotérmica es más adecuado emplear una temperatura de 50°C, puesto que hay que tener en cuenta que al aumentar la temperatura de suministro disminuirá el rendimiento de la máquina.

Para obtener las demandas de cada mes a 50°C se empleará la siguiente fórmula extraída del CTE HE [25]:

$$D_i(T) = \frac{D_i(60^\circ\text{C}) \cdot (60 - T_i)}{T - T_i} \quad (2)$$

Donde,

- $D_i(50^\circ\text{C})$ Demanda de agua caliente sanitaria para el mes i , a la temperatura de 50°C.
- $D_i(60^\circ\text{C})$ Demanda de agua caliente sanitaria para el mes i , a la temperatura de 60°C
- T Temperatura del acumulador final, en este caso son 50°C.
- T_i Temperatura media del agua fría en el mes i . (Estas temperaturas son diferentes para cada localidad y se indican en el apartado 10 del anexo)

Tabla 12. Demanda de ACS a la temperatura de 50°C. Fuente propia.

Mes	Temperatura agua de la red [°C]	Demanda (T=50°C) [litros/día]
Enero	6	34,364
Febrero	8	34,667
Marzo	9	34,829
Abril	10	35,000
Mayo	12	35,368
Junio	15	36,000
Julio	18	36,750
Agosto	18	36,750
Septiembre	16	36,235
Octubre	12	35,368
Noviembre	9	34,829
Diciembre	7	34,510

Con los resultados obtenidos en la Tabla 12, se requiere una media de 36 litros/día por persona, lo que supone un total de 144 litros por día.

Seguidamente, en la Tabla 13 se calcula los aportes de energía que se necesita para cubrir la demanda de ACS para cada mes:

Tabla 13. Demanda mensual de ACS.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Días del año	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Consumo de agua (m ³)	4,464	4,032	4,464	4,32	4,464	4,32	4,464	2,232	4,32	4,464	4,32	4,464
Incremento de temperatura (°C)	44	42	41	40	38	35	32	32	34	38	41	43
Energía necesaria (KWh)	228,43	196,95	212,86	200,97	197,28	175,85	166,13	83,07	170,82	197,28	205,99	223,24

Corresponde con una demanda total anual de 2258,86 kWh.

Las fórmulas empleadas han sido:

- Consumo (m^3) = $\frac{m \cdot \text{días} \cdot \% \text{ocupación}}{1000 \cdot 100}$ $m=144$ litros/día

- Incremento de temperatura ($^{\circ}C$): $\Delta T = T - T_i$

- Energía (MWh) = $\frac{\text{consumo} \cdot \Delta T \cdot \rho \cdot Cp}{1000 \cdot 3600}$ densidad del agua: $\rho=1000\text{kg}/m^3$
 calor específico del agua $Cp = 4,1868 \text{ kJ}/\text{kgK}$

- El porcentaje de ocupación se ha tomado como el 100% para todos los meses menos en agosto con un 50% de ocupación.

Esta energía necesaria obtenida para cada mes se añadirá a la demanda de calefacción mensual para el dimensionamiento de la bomba de calor y el intercambiador geotérmico.

7.3 Cálculos de demanda

La demanda energética determina la energía necesaria que debe proporcionar el sistema al edificio durante un período determinado, se mide en unidades de energía. [2]

Para la vivienda unifamiliar, la demanda energética se ha hallado mediante el programa CLIMA V2 a partir del cálculo de cargas térmicas con los datos detallados en el punto 7.1.

Las demandas anuales obtenidas son:

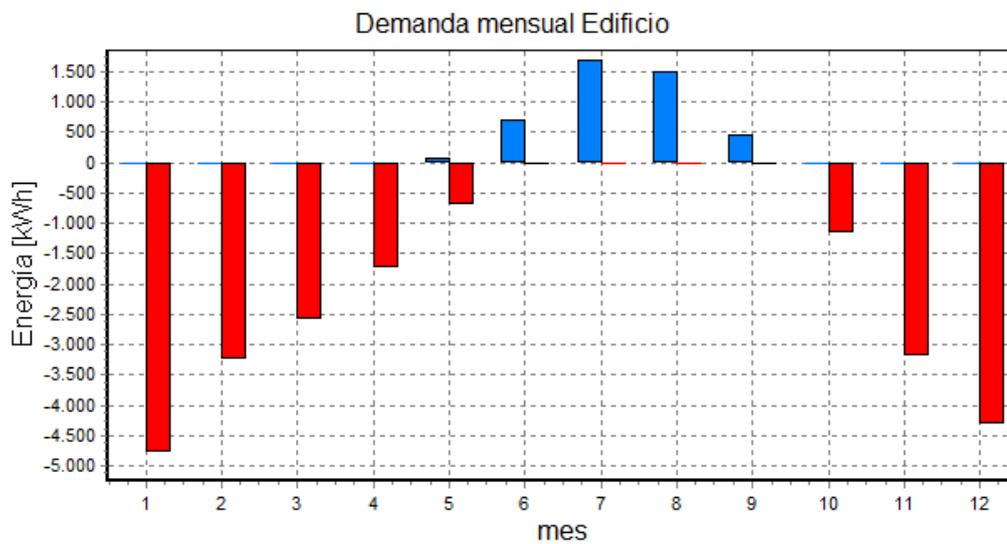
- Demanda total de refrigeración: 4425,25 kWh
- Demanda total de calefacción: -21771,38 kWh

En la Tabla 14 se presenta la demanda energética por meses.

Tabla 14. Demanda energética mensual. Fuente propia.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Refrigeración [kWh]	0	0	0	1	79	706	1685	1493	461	0	0	0
Calefacción [kWh]	-4766	-3248	-2582	-1732	-695	-44	0	0	-34	-1158	-3197	-4316

Los valores de la Tabla 14 aparecen representados en la Gráfica 5.

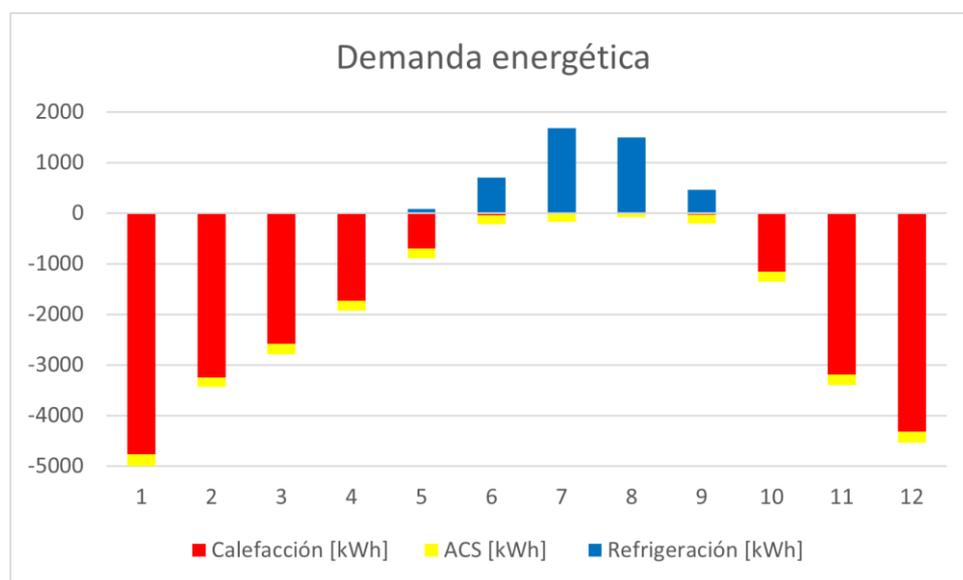


Gráfica 5. Demanda mensual de energía térmica. Fuente propia.

Como se observa en la Gráfica 5, la vivienda cuenta con una demanda de calefacción dominante frente a la de refrigeración. Desde el mes de octubre hasta el mes de mayo hay una amplia demanda de calefacción frente a la de refrigeración que prácticamente se emplea en los dos meses centrales del verano, julio y agosto. La demanda máxima mensual de calefacción se da para el mes de enero, siendo casi el triple de la demanda de refrigeración máxima que se da en julio. En total, la demanda de calefacción es casi cinco veces mayor que la de refrigeración.

A estas demandas hay que sumarle la demanda mensual de ACS calculada en el apartado 7.2.

En la Gráfica 6 se representa la demanda energética total de la vivienda separada en calefacción, ACS y refrigeración.



Gráfica 6. Demanda anual de calefacción, ACS y refrigeración. Fuente propia.

En términos generales cuando se emplean los valores de demanda de calefacción se incluye la demanda de ACS.

Finalmente, se tienen las siguientes demandas:

- Demanda total anual de calefacción (incluyendo el ACS): -2420,85 kWh
- Demanda total anual de refrigeración: 4425,25 kWh
- Demanda energética total anual: 28446,1 kWh

8 Diseño Instalación

8.1 Selección de la bomba de calor geotérmica

La bomba de calor geotérmica se escoge en función de la potencia necesaria, a partir del cálculo de las cargas térmicas. Para esta vivienda se necesitan 6,91 kW para la refrigeración y 10,67 kW para calefacción (apartado 7.1.4).

Observando un catálogo de un fabricante gallego de bombas de calor, Ecoforest, se ha elegido la bomba ecoGEO HTR Compact 3-12 kW monofásica. Es reversible siendo capaz de suministrar calor y frío. Su rango de utilización es el más adecuado de acuerdo con las exigencias de diseño de la vivienda. [16]

A continuación, se indican las características principales de la bomba de calor geotérmica en la Tabla 15.

Tabla 15. Especificaciones técnicas de la bomba de calor geotérmica. Fuente: catálogo de ecoForest.

Especificaciones ecoGEO Compact 3-12 kW monofásica		
Aplicación	Tipo de sistema de captación	Geotérmico
	ACS, Calefacción y piscina	Sí
	Refrigeración activa integrada	Sí
Prestaciones	Potencia de calefacción	2,5-16,0 kW
	Potencia de refrigeración	3,1-15,0 kW
	COP	4,6
	EER	5,2
	Temperatura ACS máxima sin apoyo	63 °C
	Nivel de potencia acústica	34-45 db
	Etiqueta energética	A+++
Límites de operación	Rango de temperaturas de calefacción	10-60 °C
	Rango de temperaturas de refrigeración	4-35 °C
	Rango de temperaturas captación calefacción	-25-30 °C
	Rango de temperaturas disipación refrigeración	10-60 °C
	Volumen y presión máxima del acumulador de ACS	165 l / 8 bar
Fluido de trabajo	Refrigerante	R410a
Datos eléctricos bomba de calor monofásica	Consumo máximo	4,2 kW
	Intensidad de arranque mínima/máxima	2,0/8,0 A
Dimensiones y peso	Altura x ancho x profundidad	1804x600x720
	Volumen depósito de acumulación	165 l
	Peso en vacío	246 kg

El modelo elegido contiene un depósito de acumulación de 165 litros para almacenar el ACS, suficiente para los 144 litros diarios necesarios. Es el modelo monofásico C3 3-12_230V para poder conectarlo a la red eléctrica de 230V habitual en viviendas. Este modelo no cuenta con resistencia eléctrica de apoyo. Emplea tecnología inverter y un compresor scroll.

Cuenta con tecnología HTR, estas siglas vienen de “High Temperature Recovery”, el sistema de recuperación de temperatura permite la producción simultánea de climatización y ACS. Incorpora un intercambiador y una bomba adicional en el sistema de ACS dando lugar a una independencia en ambos circuitos. Esto presenta una serie de ventajas importantes; el confort de no tener que interrumpir la producción de climatización cuando hay una demanda moderada de ACS, permite la producción de ACS hasta 70°C sin resistencia eléctrica, en verano proporciona un aumento de rendimiento y por último la reducción de inversiones del ciclo. [17]

El esquema de funcionamiento de las bombas geotérmicas que incluyen la tecnología HTR es el mostrado en la Figura 17.

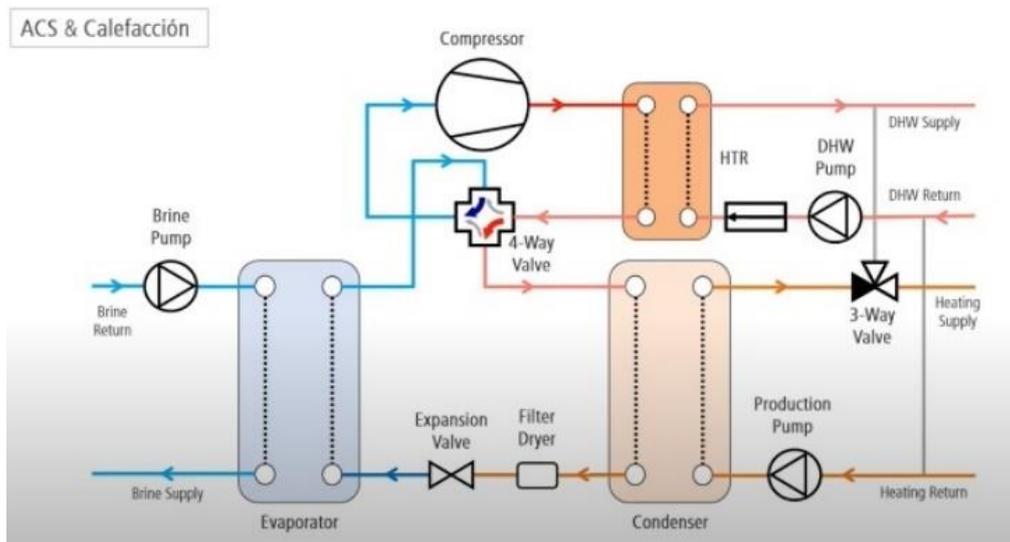


Figura 17. Esquema de funcionamiento de la tecnología HTR. Fuente: vídeo de youtube.

Las especificaciones de la bomba de calor fijan varios parámetros de diseño del intercambiador de calor. Entre ellos se encuentran el calor intercambiado con el suelo y los rendimientos del sistema. Esta bomba cuenta con un COP (Coefficient Of Performance) de 4,6 y un EER (Efficiency Energy Rate) de 5,2. Es de alta eficiencia, de clase energética A⁺⁺⁺.

Cuenta con un amplio rango de temperaturas regulable para ambos modos de funcionamiento.

El refrigerante empleado en la instalación es el R410 A. No contiene cloro por lo que no es perjudicial para la capa de ozono, no genera CO₂, no es inflamable y es eficiente. La presión del circuito de refrigeración se encuentra entre los 2 y 45 bares. Los circuitos de producción y captación se encuentran a presiones mucho menores, entre los 0,5 y 3 bares.

La instalación se ubica en la galería y cuenta las siguientes dimensiones: 1804x600x720 cm.

En el apartado 4 del anexo se incluye la hoja de especificaciones técnicas del catálogo de bombas de calor del fabricante.

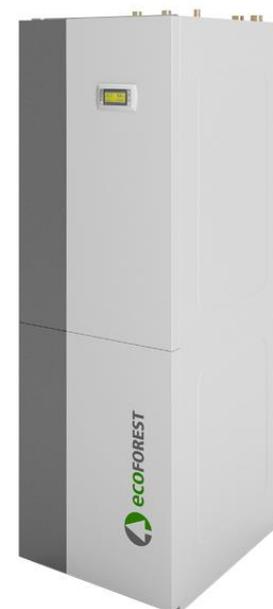


Figura 18. Bomba de calor geotérmica ecoGEO 3-12 kW. Fuente: catálogo ecoForest.

8.1.1 Rendimiento de la bomba de calor geotérmica

La eficiencia de la máquina se expresa por medio de unos coeficientes internacionalmente aceptados.

Al rendimiento en modo calor, se le denomina COP (*Coefficient of Performance*), es el cociente entre la energía útil obtenida de la máquina (capacidad térmica Q_c) y la potencia eléctrica suministrada (W). En modo frío, se llama EER (*Efficiency Energy Rate*). [4]

$$COP = \frac{Q_c}{W} \quad EER = \frac{Q_f}{W} \quad (5)$$

Los fabricantes indican el COP nominal de la bomba de calor en régimen estacionario y trabajando entre unas temperaturas determinadas del fluido frío y caliente.

Para la bomba ecoGEO 3-12kW monofásica, los valores de rendimientos indicados en el catálogo son COP = 4,6 y EER = 5,2.

El COP de esta bomba quiere decir que solo una cuarta parte del calor que se proporciona a la vivienda proviene del trabajo del compresor. Los rendimientos en bombas de calor son bastante elevados, mucho mayores que la unidad, de manera que con una pequeña cantidad de energía eléctrica se consigue una energía térmica considerable.

Las demandas térmicas anuales son:

- 24020,85 kWh para calefacción (incluyendo el gasto en ACS).
- 4425,25 kWh para refrigeración.

Con el rendimiento y la demanda se obtiene el consumo necesario a partir de la red:

$$\text{Energía calefacción}_{red} = \frac{Q_c}{COP} = \frac{24020,85}{4,6} = 5221,92 \text{ kWh}$$

$$\text{Energía refrigeración}_{red} = \frac{Q_c}{EER} = \frac{4425,25}{5,2} = 851,009 \text{ kWh}$$

La energía anual consumida a partir de la red eléctrica corresponde a un total de 6072,929 kWh.

8.1.2 Energía renovable de la bomba calor

Según el artículo 5 de la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables *“la energía geotérmica capturada por las bombas de calor se tendrá en cuenta siempre que la producción final de energía supere de forma significativa el consumo de energía primaria”*. [2]

La cantidad de calor que se considera renovable a efectos de la Directiva se calcula de acuerdo con la siguiente expresión:

$$E_{res} = Q_{usable} \left(1 - \frac{1}{SPF}\right) \quad (3)$$

SPF es el factor de rendimiento medio estacional estimativo para la bomba de calor. Este valor se estima a partir de los siguientes parámetros:

$$SPF = COP \cdot FP \cdot FC \quad (4)$$

FP es el factor de ponderación. Tiene en cuenta las diferentes zonas climáticas de España.

FC es el factor de corrección. Tiene en cuenta la diferencia de temperatura de distribución y la temperatura para la cual se ha obtenido el COP de la bomba en el ensayo.

Para este caso, según las tablas del documento de la Calificación Energética *“Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios”* del IDAE [30], corresponden los siguientes valores:

-FP = 1,11

-FC = 0,88

Las tablas de donde se han extraído estos valores aparecen en el apartado 9 del anexo.

$$SPF = 4,6 \cdot 1,11 \cdot 0,88 = 4,4528$$

La Decisión de la Comisión de 1 de marzo fija un SPF mínimo para las bombas de calor accionadas eléctricamente para considerarse renovables, su SPF debe ser superior a 2,5. Se acaba de comprobar que esta bomba sí lo cumple. [2]

Q_{usable} es el calor útil estimado proporcionado por la bomba de calor. Como la directiva se refiere al uso de las bombas de calor en modo calefacción (contando la energía necesaria para el ACS), el calor que proporciona la bomba es 24030,85 kWh/año. Para frío no se puede aplicar esta norma debido a que no se extrae energía renovable del terreno, simplemente se inyecta en él y de esta manera se tiene un foco más eficiente.

Finalmente se obtiene:

$$E_{res} = 24020,85 \cdot \left(1 - \frac{1}{4,4528}\right) = 18626,3 \text{ kWh/año}$$

Este resultado de 18626,3 kWh/año equivale a decir que el 77,5% de la energía producida es capturada del terreno gracias a la bomba de calor y por tanto se considera renovable.

8.2 Sistema de captación

El sistema de captación cerrado vertical es el elegido para la vivienda del proyecto. En él se lleva a cabo la ejecución de dos perforaciones de 120 metros de profundidad donde se introducen las sondas geotérmicas, en las cuales tendrá lugar el intercambio de energía calorífica entre el subsuelo y el fluido caloportador.

8.2.1 Técnicas de perforación

Hay dos métodos de perforación: percusión y rotación, pero el más adecuado para instalaciones geotérmicas es el de rotopercusión que contiene elementos de los dos anteriores. [2]

Para el sondeo geotérmico vertical de este caso, la técnica de perforación más adecuada en función del tipo de terreno es la rotación con circulación directa y lodos, se emplea para terrenos inestables como gravas y arenas.

8.2.2 Tipo de sonda

La perforación vertical se equipa con la sonda geotérmica por la que circulará el fluido de intercambio de calor entre la bomba de calor y el terreno.

Existen varios tipos de sondas. Las coaxiales son adecuadas para perforaciones profundas, su principal ventaja es su baja resistencia térmica pero como inconveniente son caras y difíciles de instalar. Por ello, las más empleadas en viviendas son en simple y doble U, las cuales son más baratas y fáciles de instalar a cambio de tener una resistencia térmica un poco mayor. [2]

La sonda elegida para la instalación es la sonda en simple U. Se instalarán dos separadas una distancia de 6 metros.

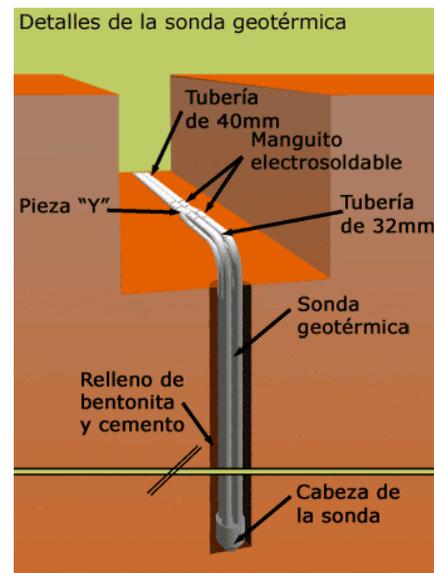


Figura 19. Esquema de detalle de la sonda geotérmica. Fuente: Google Fotos.

8.2.3 Selección del material de relleno

La selección del material de relleno es muy importante para la transferencia de calor del intercambiador, la composición debe ser adecuada a las características geológicas e hidrográficas del emplazamiento garantizando su inocuidad. [2]

Según la norma UNE 100715:1-2014, la conductividad térmica del relleno debe ser mayor o igual a la conductividad del terreno, en este caso el material de relleno tendrá una conductividad térmica de 2 W/mK.

8.2.4 Dimensionado del intercambiador

Para el diseño del intercambiador de calor se emplea el programa Earth Energy Designer (EED). Este es un programa para el diseño de intercambiadores de calor de pozos verticales. Es sencillo de utilizar, con tiempos de cálculo rápidos y base de datos propia.

Tabla 16. Demanda mensual de energía necesaria. Fuente propia.

Energía necesaria	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Calefacción [MWh]	-4,994	-3,435	-2,795	-1,933	-0,892	-0,220	-0,166	-0,083	-0,205	-1,355	-3,403	-4,539
Refrigeración [MWh]	0	0	0	0	0,079	0,706	1,685	1,493	0,461	0	0	0

En la Tabla 16 aparecen las cantidades de energía mensual necesaria que deberá proporcionar la bomba de calor con ayuda del intercambiador geotérmico. Corresponde con la demanda energética para cada mes, en calefacción se ha sumado la energía necesaria para ACS.

Los datos necesarios y empleados en el cálculo son:

- La conductividad térmica: 1,075 W/mK
- La capacidad volumétrica calorífica: 1,625 MJ/m³K
- La temperatura media del terreno: 12,8°C
- El tipo de intercambiador: simple U
- Configuración del intercambiador: 2 perforaciones en línea
- La profundidad de perforación: 120 m
- Espacio entre perforaciones: 6 m
- Diámetro de sonda: 0,127 m
- Conductividad térmica del terreno: 2 W/mK
- Fluido caloportador: Etilenglicol (*Monoethylenglycole*)
- SPF: COP = 4,6 EER = 5,2
- Demanda base mensual: se incluye la demanda energética, en calefacción se suma la demanda de ACS.
- Pico de potencia de calor y enfriamiento: En enero, 10,67 kW de calefacción y en julio 6,91kW para refrigeración, ambas durante 8h.
- Periodo de simulación: 25 años
- Primer mes de operación: septiembre

Estos datos han sido obtenidos con anterioridad, extraídos del catálogo de la bomba de calor o seleccionados de los propuestos en el programa.

El fluido caloportador escogido para la instalación que transcurre por las sondas geotérmicas es el Etilenglicol (*Monoethylenglycole*). Es un compuesto químico orgánico transparente, incoloro y ligeramente espeso. Este compuesto tiene un punto de congelación más bajo que el agua, por este motivo es apropiado para la instalación en la provincia de Valladolid, puesto que en invierno pueden haber heladas y existirían problemas de congelación en la instalación si el fluido empleado fuera el agua.

Las propiedades del fluido que se han tenido en cuenta en el cálculo del intercambiador son las que se muestran en la Tabla 17. (Estos datos aparecen en la base de datos del programa al seleccionar el etilenglicol)

Tabla 17. Propiedades fluido caloportador. Fuente propia.

Conductividad térmica [W/mK]	0,480
Capacidad calorífica específica [J/kgK]	3795
Densidad [kg/m ³]	1052
Viscosidad [kg/ms]	0,0052
Punto de congelación [°C]	-14

Al ser dos perforaciones de 120 metros de profundidad, se toman como 240 metros de intercambiador. Los resultados se dan en conjunto para las dos sondas que constituyen el intercambiador.

Una vez introducidos los datos, el programa resuelve los cálculos pertinentes para la obtención de las temperaturas de funcionamiento del fluido caloportador. (En el apartado 5 del anexo aparece el informe proporcionado por el programa)

En los siguientes epígrafes se exponen los resultados obtenidos y un análisis de éstos.

8.2.5 Análisis de resultados del sistema de captación.

8.2.5.1 Resistencia térmica y número de Reynolds

La resistencia térmica del sondeo determina el salto de temperatura entre la temperatura media del fluido y la temperatura de la pared del sondeo, para una determinada tasa de transferencia de calor específico. Ésta tiene un efecto significativo en el rendimiento del sistema, lo mejor es que sea lo más baja posible. [2]

Para este intercambiador es de 0,0932 K/(W/m), un valor adecuado puesto que la resistencia térmica suele estar comprendida entre 0,01 y 0,025 K/(W/m). Estos valores dependen de la geometría, el material de las sondas y las propiedades térmicas del material de relleno.

El número de Reynolds para las tuberías de las sondas es 19814. Este valor nos indica que el régimen es turbulento. Ha de ser así para facilitar el intercambio térmico a través de las paredes, aunque esto suponga una pérdida de carga mayor que si fuera laminar. Para solucionarlo se incrementa la potencia de la bomba de circulación. [2]

8.2.5.2 Extracción de calor específico del intercambiador

En la Tabla 18 aparece la tasa de extracción específica de la sonda geotérmica. Los valores positivos son para los meses en los que el sistema funciona en modo calefacción y los negativos para el funcionamiento en refrigeración.

Tabla 18. Extracción de calor específica.

Tasa de extracción de calor específica (W/m)			
Mes	Cargas base	Pico de calor	Pico de frío
Enero	22,31	34,79	0,00
Febrero	15,34	0,00	0,00
Marzo	12,49	0,00	0,00
Abril	8,63	0,00	0,00
Mayo	3,45	0,00	0,00
Junio	-3,82	0,00	0,00
Julio	-10,73	0,00	-34,33
Agosto	-9,79	0,00	0,00
Septiembre	-2,22	0,00	0,00
Octubre	6,05	0,00	0,00
Noviembre	15,20	0,00	0,00
Diciembre	20,28	0,00	0,00

La sonda extrae potencia del terreno por cada metro del intercambiador en invierno y la inyecta al terreno en verano. Los valores cambian para cada mes según el intercambio de energía necesario y disponible en el terreno.

También aparece el valor máximo y mínimo de calor específico que se extrae o inyecta en el terreno para las cargas pico obtenidas en el punto 7.1.4. Estas cifras son más altas que para las cargas base al ser considerados solo en momentos concretos de máximo intercambio térmico.

8.2.5.3 Restricciones de la temperatura del fluido

Con el programa EED podemos conocer las temperaturas del fluido caloportador a lo largo de los años. Con estos datos se determina durante cuánto tiempo mantiene sus propiedades el intercambiador realizando un funcionamiento óptimo.

8.2.5.4 Temperaturas del fluido caloportador para cargas base.

Con las cargas térmicas mensuales de la vivienda se obtiene los valores medios de temperaturas del fluido caloportador para cada mes. En la Tabla 19 se muestran estas temperaturas para cinco años distintos entre el primero y el año 25.

Tabla 19. Temperaturas mensuales para distintos años del fluido caloportador. (Cargas base)

Mes	Temperaturas fluido caloportador [°C]				
	Año 1	Año 2	Año 5	Año 10	Año 25
Enero	16,15	1,51	0,35	-0,34	-1,07
Febrero	16,15	4,94	3,83	3,15	2,42
Marzo	16,15	6,49	5,41	4,75	4,02
Abril	16,15	8,71	7,66	7,01	6,29
Mayo	16,15	11,85	10,84	10,19	9,47
Junio	16,15	16,37	15,40	14,76	14,05
Julio	16,15	20,92	19,98	19,35	18,65
Agosto	16,15	21,06	20,16	19,54	18,84
Septiembre	17,44	17,07	16,20	15,59	14,90
Octubre	12,74	12,21	11,35	10,75	10,06
Noviembre	7,05	6,49	5,65	5,06	4,37
Diciembre	3,41	2,85	2,02	1,44	0,75

En el primer año los valores empiezan en septiembre, cuando se instala el equipo, por esta razón se mantienen hasta ese mes en un valor que no es válido.

El fluido caloportador tendrá una temperatura superior a la exterior en invierno e inferior en verano. Es importante conocer las temperaturas con las que se trabaja puesto que el fluido caloportador no debe estar fuera de un rango de valores para su correcto funcionamiento.

Como se observa en la Tabla 19 las temperaturas del etilenglicol van disminuyendo para el mismo mes a medida que avanza el tiempo, esto quiere decir que el intercambiador va perdiendo eficacia.

Tabla 20. Temperatura máxima y mínima del fluido caloportador.

	[°C]	Mes
Temperatura mínima del fluido	-1,07	Enero
Temperatura máxima del fluido	18,84	Agosto

En la Tabla 20 están marcadas las temperaturas más extremas que soportará el fluido caloportador a lo largo de la vida útil de la instalación, corresponden a su último año de uso. Se encuentran dentro de los límites, se suele establecer en -5 °C para la temperatura mínima en invierno, por lo que está correctamente dimensionada la instalación de la sonda geotérmica para una vida útil de 25 años.

8.2.5.5 Temperaturas del fluido caloportador para cargas pico

En este punto se tienen los valores medios de temperaturas del fluido caloportador para las cargas pico. Las cargas pico se dan en los meses de enero y julio. Por ello, los valores de temperaturas del fluido caloportador en la Tabla 21 cambian para esos meses respecto los de la Tabla 19.

Tabla 21. Temperaturas mensuales para distintos años del fluido caloportador. (Cargas pico)

Mes	Temperaturas fluido caloportador [°C]				
	Año 1	Año 2	Año 5	Año 10	Año 25
Enero	16,15	-1,58	-2,74	-3,42	-4,16
Febrero	16,15	4,94	3,83	3,15	2,42
Marzo	16,15	6,49	5,41	4,75	4,02
Abril	16,15	8,71	7,66	7,01	6,29
Mayo	16,15	11,85	10,84	10,19	9,47
Junio	16,15	16,37	15,40	14,76	14,05
Julio	16,15	26,75	25,81	25,18	24,48
Agosto	16,15	21,06	20,16	19,54	18,84
Septiembre	17,44	17,07	16,20	15,59	14,90
Octubre	12,74	12,21	11,35	10,75	10,06
Noviembre	7,05	6,49	5,65	5,06	4,37
Diciembre	3,41	2,85	2,02	1,44	0,75

Como se aprecia en la Tabla 21, la temperatura mínima en enero disminuye notablemente respecto con la de la demanda base y la temperatura máxima en julio se incrementa. Son los casos más extremos y por ello hay que controlarlo para que no excedan los límites y conseguir mantener un buen funcionamiento del sistema a lo largo de los años.

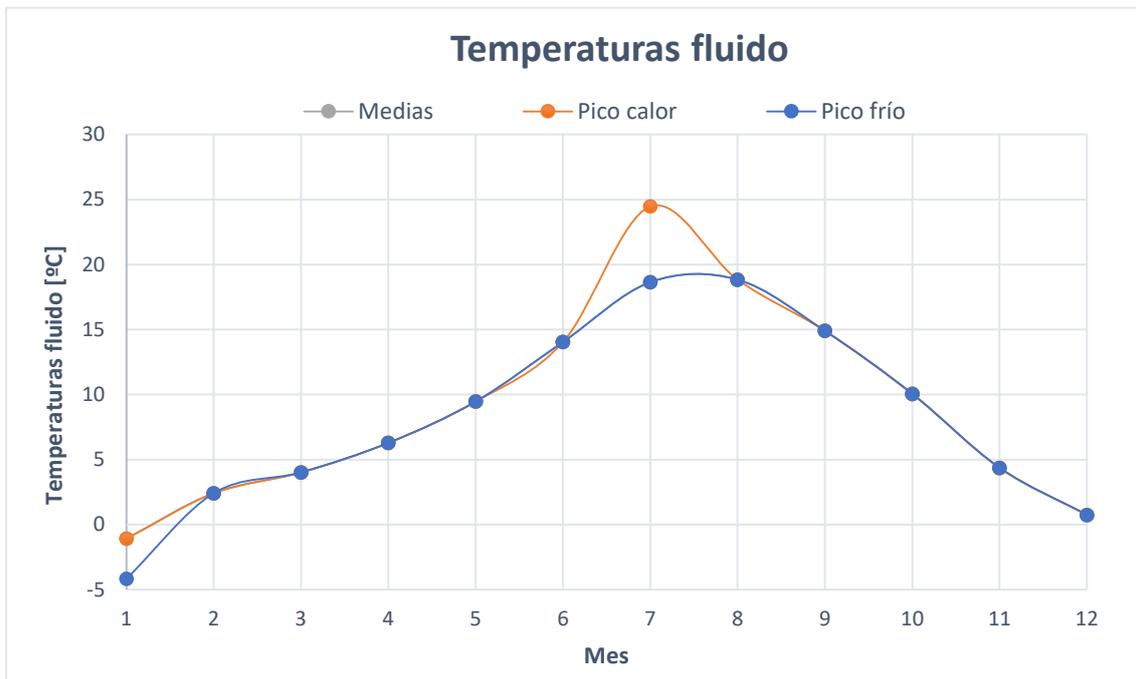
Tabla 22. Temperatura máxima y mínima del fluido caloportador para las cargas pico.

	[°C]	Mes
Temperatura mínima del fluido	-4,16	Enero
Temperatura máxima del fluido	24,48	Agosto

En la Tabla 22 se muestran las temperaturas más extremas del fluido caloportador a lo largo de su vida útil. Como pasa con la demanda base, se dan para el último año de funcionamiento y estos valores de temperatura del fluido para los picos de demanda son los que marcan este periodo de tiempo.

Los valores de temperaturas del fluido caloportador para el año 25 que están recogidos en la Tabla 19 y la Tabla 21 aparecen representados en la Gráfica 7.

Los valores de temperaturas del fluido caloportador para el año 25 que están recogidos en la Tabla 19 y la Tabla 21 aparecen representados en la Gráfica 7.



Gráfica 7. Temperaturas del fluido caloportador. Fuente propia.

Como conclusión del diseño del intercambiador geotérmico se tiene que una perforación de 120 metros de profundidad para cada una de las dos sondas permite un funcionamiento del intercambiador geotérmico adecuado. Se mantienen las temperaturas del fluido caloportador en el rango de valores óptimo para un buen funcionamiento durante 25 años de vida útil.

8.3 Sistema de distribución

Como sistema de distribución de la energía generada a partir del intercambiador geotérmico y la bomba de calor, la mejor opción es el suelo radiante/refrescante.

La combinación de este sistema de distribución de calor con geotermia es ideal porque permite optimizar aún más el sistema de intercambio geotérmico ya que la temperatura de trabajo para obtener el máximo confort es menor que con otros sistemas de distribución, generalmente entre 35 y 40°C para calefacción y 12-16°C para refrigeración. Esto supone un bajo consumo para un buen rendimiento. Favorece la ecoeficiencia comparándolo con otros sistemas clásicos que requieren altas temperaturas de trabajo, consumiendo un 20% menos que los sistemas de radiadores tradicionales. [18]

El suelo radiante está formado por una serie de circuitos de tubos flexibles embebidos en el suelo por los que se hace circular agua caliente o fría dependiendo de si se quiere utilizar en modo calefacción o en modo refrigeración.

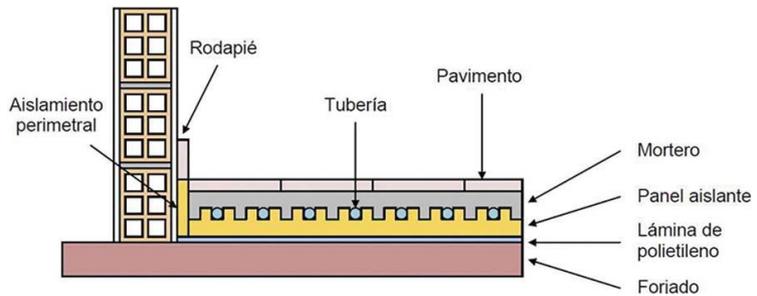


Figura 20. Esquema suelo radiante/refrescante.

El calor del fluido se cede al ambiente por conducción y una parte por convección natural a través de la capa de mortero y del pavimento. Por el contrario, en modo refrigeración, el exceso de calor contenido en la estancia se absorbe, a través del pavimento y de la capa de mortero que contiene las tuberías por las que circula agua fría disipándolo al terreno por la sonda. Este diseño genera un bienestar al producirse una distribución uniforme del calor en todas las estancias de manera homogénea.

Utilizar un sistema de forma ambivalente, como calefacción o refrigeración en el mismo aparato, es una gran ventaja frente al caso de los radiadores que han de ser combinados con fan coils para obtener la climatización integral. Cabe destacar su invisibilidad al quedar totalmente oculto, dejando más espacio en la vivienda para mobiliario.

8.4 Esquema de la instalación

Los componentes principales de la instalación de climatización geotérmica a instalar en la sala técnica de la vivienda (la galería) y sus medidas se exponen a continuación:

- Bomba de calor geotérmica (incluye el depósito de ACS), dimensiones: 1804x600x720 cm.
- Colector de recogida de las dos sondas geotérmicas PE 100, DN 75 y SDR11, recoge las 4 tuberías de conexión de 32 mm de diámetro que vienen desde las sondas, 2 de ida y 2 de vuelta, y de éste salen otras 4 para conectarlas con la bomba de calor.
- Tuberías de conexión de 32 mm de diámetro: 69,8 metros.
- Sondas geotérmicas en simple U de 0,127 cm de diámetro y 120 metros de profundidad.

En la Figura 21 se muestra el plano general de la vivienda con los componentes del sistema de generación geotérmico.

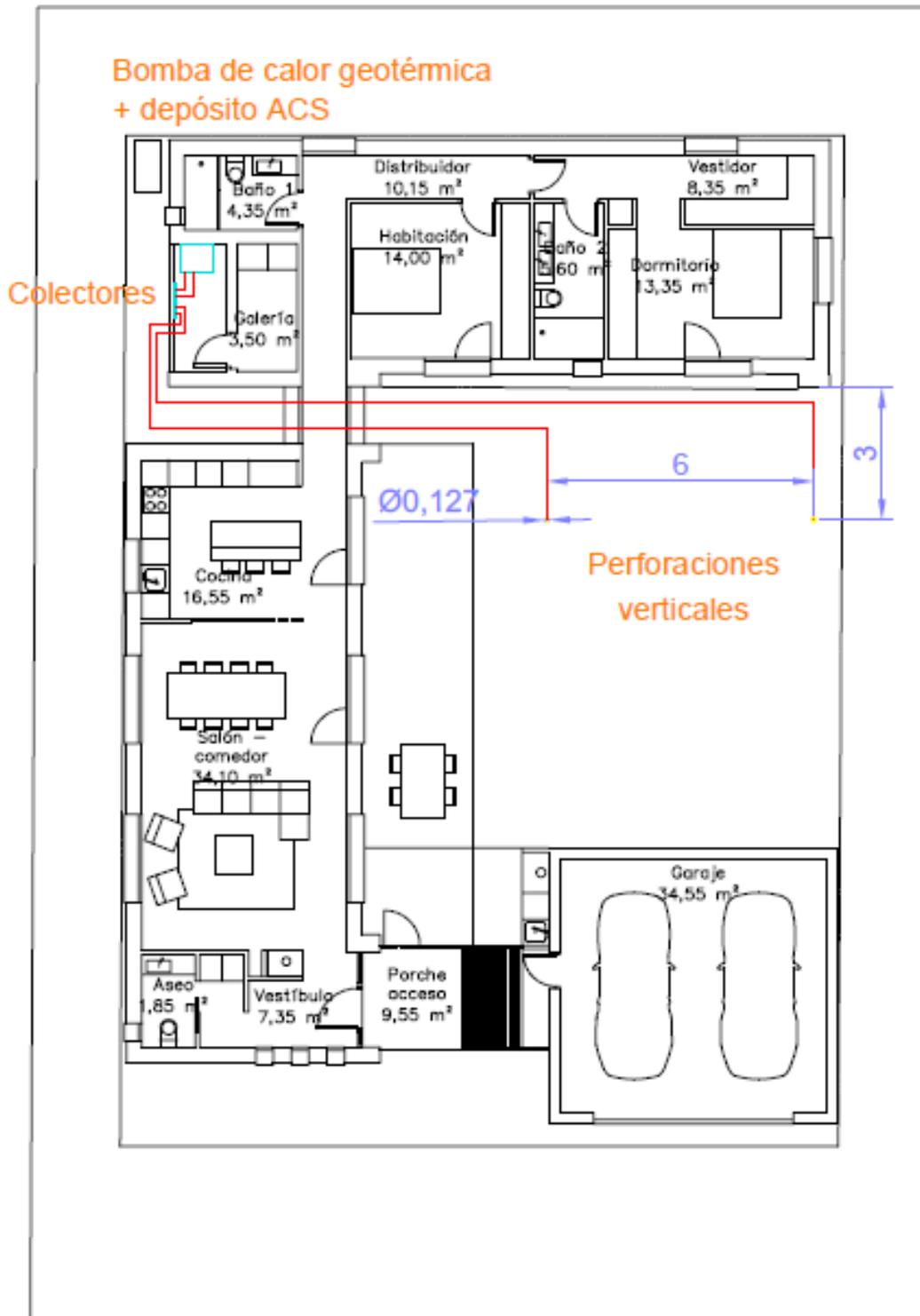


Figura 21. Plano general de la instalación geotérmica en la vivienda. Fuente propia.

Los componentes anteriormente nombrados se observan en detalle en la Figura 22 y Figura 23.

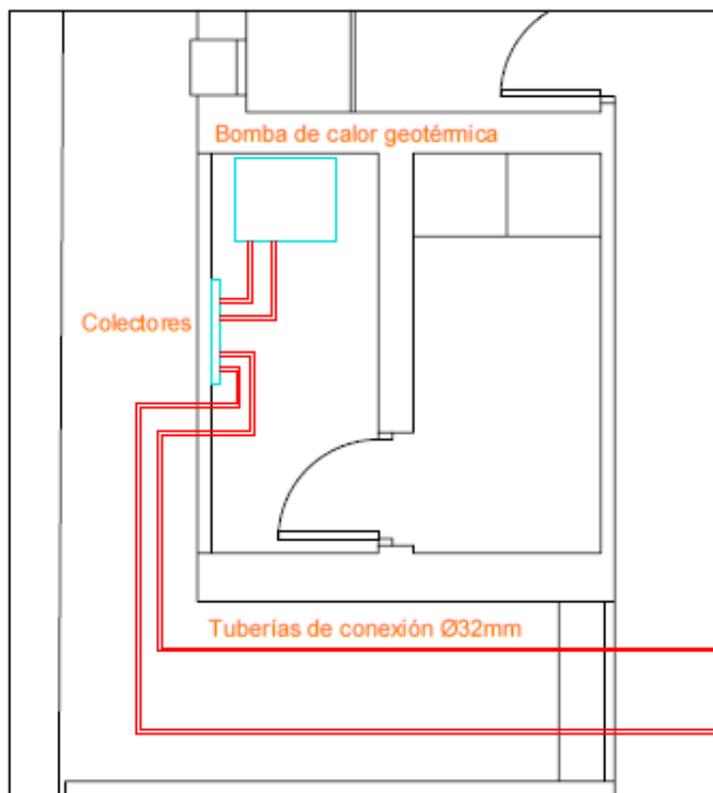


Figura 22. Detalle de la sonda geotérmica. Fuente propia.

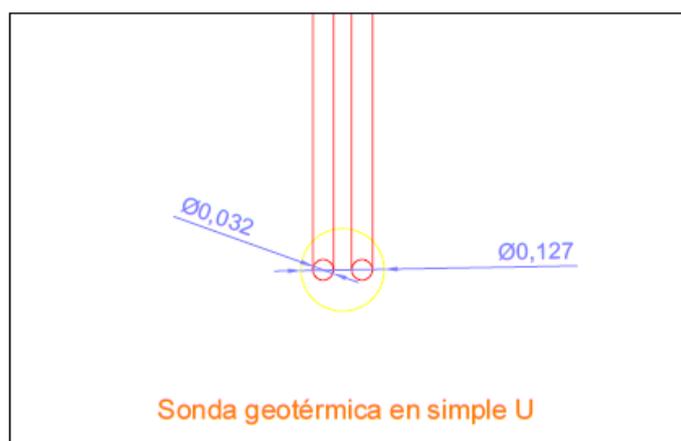


Figura 23. Detalle de la sala técnica. Fuente propia.

9 Estudio económico, energético y medioambiental

La mayor parte del consumo energético en edificios se atribuye a requerimientos de calefacción y refrigeración. El rápido crecimiento económico en los últimos años ha propiciado un incremento en la demanda energética como consecuencia de adoptar mejores condiciones de confort y bienestar a través de la tecnología. Dicho incremento conlleva un aumento del consumo de combustibles fósiles con el impacto medioambiental que ocasiona.

Aprovechar al máximo los recursos que ofrecen las energías renovables para crear sistemas más eficientes, limpios y de fácil generación de manera que estos puedan sustituir y cubrir las demandas energéticas en la sociedad actual.

En este último punto, se realiza un estudio de viabilidad económica y energética de la instalación, para ello, se realiza una comparativa frente a un sistema convencional con el fin de analizar su coste económico, la rentabilidad, la eficiencia energética y las emisiones de CO₂.

9.1 Estudio de viabilidad económica

En el estudio económico se comparan los costes de la instalación geotérmica desarrollada en el proyecto frente a un sistema convencional.

El sistema convencional está formado por una caldera de gas para la obtención de calefacción con radiadores y un sistema de aire acondicionado a partir de una bomba de calor aerotérmica para la refrigeración.

Los gastos que se analizan a en el estudio económico son, el coste energético anual y el coste de la inversión inicial.

Para finalizar, se realiza un estudio para comprobar la rentabilidad del proyecto y el tiempo necesario para su amortización.

9.1.1 Coste energético anual

Una de las principales ventajas de la bomba de calor geotérmica es el bajo consumo energético requerido para generar energía gracias a su alto rendimiento. Esto implica un coste energético anual menor que el de un sistema convencional, suponiendo un ahorro económico considerable en la factura anual.

Para contabilizar el consumo de cada máquina se emplea la demanda de energía que requiere la vivienda, se divide por el rendimiento y se obtiene la energía consumida por cada una.

La demanda energética total es de 28446,1 kWh/año, siendo 24020,85 kWh para calefacción y 4425,25 kWh para refrigeración. Este es el aporte anual energético que realiza el sistema de climatización que se instale.

Se supone un rendimiento de 0,92 para la caldera de gas. Se toma una bomba aerotérmica de clase A que cuenta con un EER igual a 3,2.

Los consumos energéticos de cada máquina aparecen en la Tabla 23.

El coste anual de energía se calcula multiplicando el consumo anual de energía por el precio del combustible.

El precio de los combustibles se expresa en €/kWh, para el gas natural se coge la tarifa de vivienda con un consumo entre 5 y 50.000kWh/año, siendo 0,0515€/kWh y para la electricidad, se toma un coste medio aproximado de 0,125€/kWh. [19] [20]

Tabla 23. Consumos y costes de energía. Fuente propia.

Sistema de climatización	Aporte anual energía [kWh]	Consumo anual de energía [kWh]	Coste combustible [€/kWh]	Coste anual energía
Gas natural [calefacción]	24020,85	26109,62	0,0515	1.344,65 €
Aire acondicionado [refrigeración]	4425,25	1382,89	0,125	172,86 €
Sistema convencional	28446,1	27492,51		1.517,51 €
Bomba de calor geotérmica	28446,1	6072,93	0,125	759,12 €

Para la instalación geotérmica el coste energético anual es de 759,12 € que corresponde únicamente al consumo de electricidad necesario para hacer funcionar la bomba de calor. Comparándolo con el coste energético anual de un sistema convencional, que es de 1.517,51 € al año, la instalación geotérmica supone un ahorro de 758,39 € anuales.

A pesar de que la energía eléctrica es más cara que la de gas natural, se obtiene un coste final menor por el bajo consumo y alta eficiencia de la bomba de calor frente al consumo energético de una caldera de gas.

9.1.2 Coste de la inversión

La climatización de una vivienda mediante una instalación geotérmica supone una inversión de la instalación de elevado coste. Siendo este es el motivo principal que frena a los consumidores en su elección como sistema de climatización en los hogares.

Se ha elaborado el presupuesto del proyecto de generación de energía para la climatización de la vivienda unifamiliar situada en el municipio de Boecillo.

En éste se incluye el coste del intercambiador geotérmico y la instalación de la bomba de calor.

Tabla 24. Presupuesto del proyecto de generación de energía para la climatización. Fuente propia.

Generación climatización	Cantidad	Precio	Importe
Intercambiador geotérmico	metros	€/metro	12.069,80 €
Perforación de 127mm de diámetro, suministro y colocación de la sonda geotérmica simple, relleno y fluido caloportador para una longitud de 120 m.	240	50,00	12.000,00 €
Tubería de conexión	69,80	1,00	69,80 €
Producción y distribución en sala técnica	unidad	€/unidad	12.923,72 €
Colectores y accesorios de conexión.	1,10	320,63	352,69 €
Suministro e instalación de bomba de calor ecoGEO C3 3-12kW	1,10	10050,00	11.055,00 €
Accesorios, valvulería y asilantes	1	1500,00	1.500,00 €
Total			24.993,52 €

El coste total de la inversión es de 24.993,52 €.

Los detalles de cada elemento se exponen en los siguientes epígrafes.

Generación de energía a partir del intercambiador geotérmico

- Dos perforaciones de 127 mm de diámetro, incluida la tubería de revestimiento en caso de ser necesaria.
- Suministro y colocación de las dos sondas geotérmicas en simple U PE 100 de 32 mm de diámetro, 3 mm de espesor para una longitud de 120 m, incluidos los accesorios para su colocación.
- Relleno por inyección con lechada de conductividad térmica igual a 2 W/mK.
- Fluido caloportador, etilenglicol.
- Tubería de conexión enterrada entre las sondas geotérmicas y los colectores, montada con todos los accesorios necesarios para su correcto funcionamiento.

Producción y distribución en la sala técnica

- Colectores y accesorios PE DN75 SDR11 PN16 para la conexión de las dos sondas geotérmicas a la bomba de calor en la sala técnica según el esquema de principio.
- Suministro e instalación de bomba de calor ecoGEO C3 3-12kW monofásica que incluye el depósito de ACS.
- Accesorios, valvulería, sistema hidráulico y aislantes.

El coste de transporte e instalación supone un 10% adicional al precio de los colectores y la bomba de calor.

Para todas las instalaciones que lo requieren se incluye en el presupuesto las pruebas hidráulicas según UNE 100751-1.

A continuación, se detallan los costes iniciales de la instalación de un sistema convencional frente al coste de la instalación geotérmica para la vivienda en estudio. Desglosando el coste individual de cada máquina.

Las cifras de los costes de la inversión inicial y el desglose aparecen en la Tabla 25.

Tabla 25. Costes iniciales. Fuente propia.

	Instalación	Coste inicial	Coste máquina
Sistema convencional	Caldera de gas	4.690,00 €	995,00 €
	Aire acondicionado	4.500,00 €	1.500,00 €
	Total	9.190,00 €	
Sistema geotérmico	Bomba de calor geotérmica	24.993,52 €	10.050,00 €

- Coste sistema convencional: 9.190 €
- Coste sistema geotérmico: 24.993,52 €

El coste de la instalación geotérmica supone más del doble de lo que cuesta una instalación de climatización convencional. La diferencia de la inversión inicial es de 15.803,52 €.

Los costes de perforación de las sondas geotérmicas son significativos frente a otro tipo de instalación, así como el precio de la bomba de calor geotérmica.

El coste de las máquinas de ambos sistemas siempre sitúa a la bomba de calor geotérmica muy por encima del coste del resto de sistemas.

Se ha realizado una estimación de mercado para los costes del sistema convencional. Aunque el coste de la caldera o del aire acondicionado pueda variar frente al que aparece en la Tabla 25, en ningún caso se aproximaría al elevado precio de una bomba de calor geotérmica.

Cabe decir, que los precios también están marcados por la vida útil de la maquinaria. Normalmente las calderas de gas tienen una vida útil aproximada de 12 años y el aire acondicionado entorno a unos 15 años, en cambio una bomba de calor geotérmica alcanza una vida útil mínima de 25 años. Por tanto, hay que tener en cuenta que en ese largo periodo de tiempo el sistema convencional las máquinas deberán ser renovados y en uno geotérmico no.

Dada la condición de ser una energía renovable y sostenible, este tipo de instalaciones, en ocasiones están dotadas por las administraciones con subvenciones estatales o autonómicas y ventajas para su financiación, reduciendo de esa manera el tiempo de retorno de la inversión.

9.1.3 Estudio de amortización

Como se ha visto en los puntos anteriores, una instalación geotérmica para climatizar una vivienda supone un elevado coste de inversión frente a sistemas alternativos, a cambio, el coste energético anual se reduce de manera significativa, por lo que a medio plazo es posible que la inversión inicial pueda ser amortizada.

A continuación, se analiza si la instalación de geotermia tiene un beneficio económico basado en el ahorro del coste anual de energía consumida.

Para evaluar la amortización se emplea el VAN, el Valor Actualizado Neto. Corresponde con un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión para conocer cuánto se va a ganar o perder en esta inversión. [24]

El VAN para cada año se calcula mediante la fórmula (6).

$$VAN = \text{Inversión} + \sum_{t=1}^{t=T} \left(\frac{FC_t}{(1+r)^t} \right) \quad (6)$$

Donde,

Inversión es la diferencia entre las dos inversiones iniciales.

T es el número de años que se va a utilizar para el estudio. En este caso la vida útil del sistema.

r es el tipo de descuento o interés exigido en la inversión. Se suele usar el 6%.

FC_t son los flujos de dinero de cada periodo t. Representan la diferencia entre el coste energético de la instalación geotérmica frente al coste energético de la instalación tradicional en un año. Se calcula a partir de la ecuación:

$$FC = Q_t \cdot C_t - Q_e \cdot C_e \quad (7)$$

Donde,

Q_t es el consumo de energía del sistema convencional en kWh.

C_t es el coste del combustible del sistema tradicional en €/kWh.

Q_e es el consumo de energía eléctrica de la BCG en kWh.

C_e es el coste de la electricidad en €/kWh.

Tabla 26. Datos necesarios para el cálculo del VAN y el TIR. Fuente propia.

Datos	
Inversión	15.803,52 €
Consumo bomba geotérmica [kWh]	6072,93
Consumo gas natural [kWh]	26109,62
Consumo aire acondicionado [kWh]	1382,89
Coste electricidad [€/kWh]	0,125
Coste gas natural [€/kWh]	0,0515
Interés	6%
Años	25

Los datos empleados en el cálculo del VAN y el TIR aparecen en la Tabla 26. Asimismo, se tiene en cuenta un incremento anual en el precio de los combustibles. Para el gas natural se considera un aumento del 8% al año y para la electricidad de un 3%.

Se confirma la rentabilidad de la instalación si el VAN obtenido es positivo. En ese caso se recuperará la inversión ejecutada más la rentabilidad mínima exigida. Si el VAN es negativo, no se confirma la rentabilidad de la instalación por lo que no se recuperará la inversión.

En la Tabla 27 aparece el resultado del VAN calculado durante 25 años.

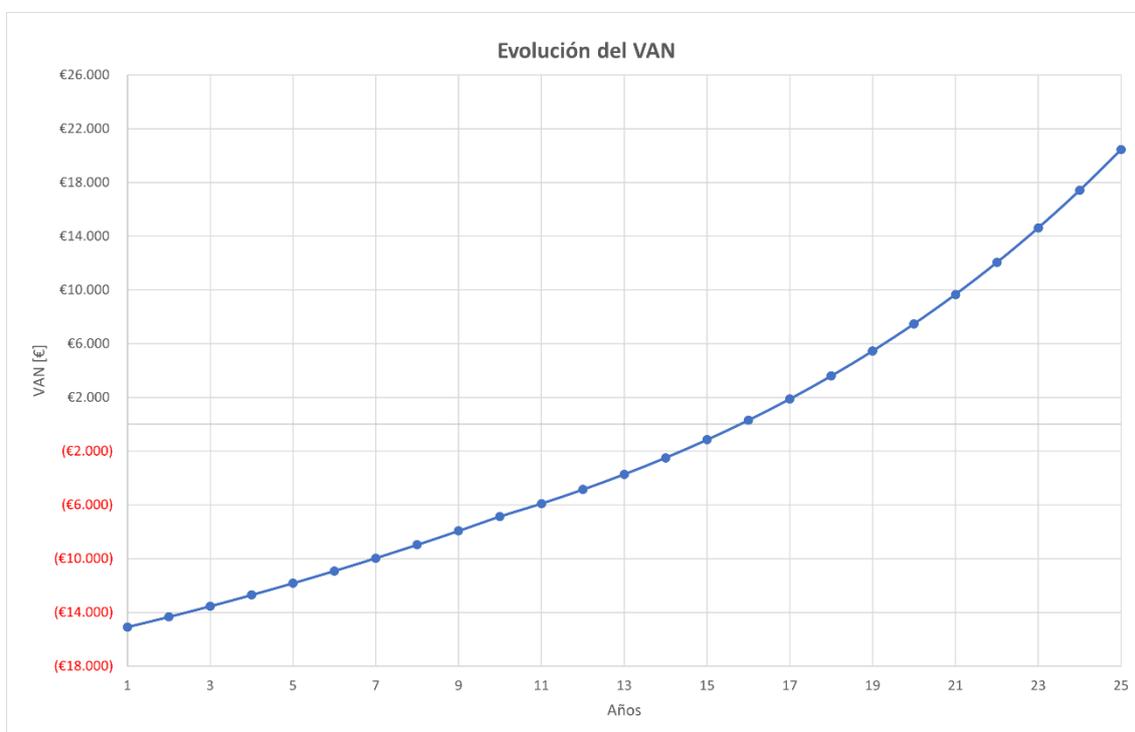
Tabla 27. VAN Instalación geotérmica frente a instalación tradicional. Fuente propia.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
VAN [€]	-15088,06	-14333,01	-13538,36	-12704,09	-11830,14	-10916,44	-9962,91	-8969,42	-7935,85	-6862,05

	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20
VAN [€]	-5902,88	-4859,67	-3725,46	-2492,76	-1153,45	301,24	1880,79	3595,44	5456,25	7475,20

	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24	Año 25
VAN [€]	9665,20	12040,24	14615,41	17407,02	20432,71

La evolución del VAN a lo largo del tiempo se representa en la Gráfica 7.



Gráfica 8. Evolución del VAN. Fuente propia.

Como se puede observar, el VAN es positivo a partir del año 16, por lo que sí se recupera la inversión y a partir de ese año hay un beneficio económico gracias al ahorro del coste energético anual. A los 25 años supone un ahorro de 20.432,71 € frente a un sistema convencional.

También se utiliza el TIR, la Tasa Interna de Retorno, que representa la rentabilidad de un proyecto frente a la inversión inicial. La inversión es rentable cuando este valor supera a la tasa de descuento. [24]

Para este estudio, el TIR tiene un valor de 11,126 %, que al ser superior a la tasa de descuento del 6% se puede decir que el proyecto es rentable.

Con este estudio se puede ver que el proyecto es rentable a largo plazo, a los 16 años se recupera la inversión y posteriormente se genera un ahorro económico anual basado en la disminución del consumo energético frente a un sistema convencional.

El estudio de amortización se ha basado en el ahorro del coste anual de energía consumida. Sin embargo, si se añadiese en el cálculo del VAN otros factores como son, los gastos de mantenimiento, la renovación de las máquinas del sistema convencional por su vida útil más corta y las posibles subvenciones que podría recibir la instalación geotérmica por su carácter renovable, todo esto jugaría a favor de una amortización del sistema geotérmico en un plazo más corto, con lo que el ahorro a los 25 años sería mayor.

9.2 Estudio de viabilidad energética

La finalidad de este punto es remarcar la eficiencia energética de la bomba de calor geotérmica comparando los consumos de cada sistema para la misma demanda de energía. (Hay que tener en cuenta que cuando se habla de calefacción se incluye el ACS)

En la Tabla 28 se muestra el aporte de energía que suministra cada instalación de calefacción o refrigeración y el consumo de energía necesario para cumplir con esa demanda.

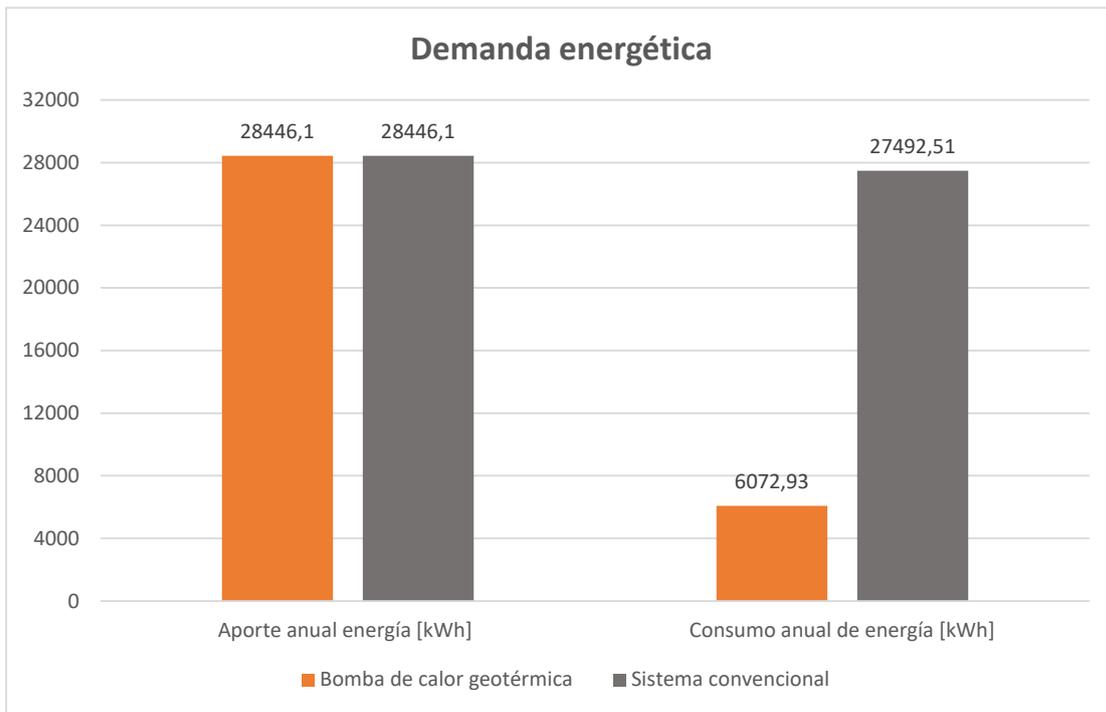
Tabla 28. Demanda energética. Fuente propia.

Sistema de climatización	Aporte anual energía [kWh]	Consumo anual de energía [kWh]
Gas natural [calefacción]	24020,85	26109,62
Aire acondicionado [refrigeración]	4425,25	1382,89
Sistema convencional	28446,10	27492,51
Calefacción + ACS	24020,85	5221,92
Refrigeración	4425,25	851,01
Bomba de calor geotérmica	28446,10	6072,93

- Demanda anual energética de la vivienda: 28446,10 kWh
- Consumo anual energético del sistema convencional: 27492,51 kWh
- Consumo anual energético de la instalación geotérmica: 6072,93 kWh

Ambos sistemas generan el mismo aporte energético total, pero con un consumo de energía notablemente diferente. Esto es debido a los rendimientos y la eficiencia de cada máquina. A continuación, se analizarán en detalle.

La principal diferencia hablando en términos energéticos entre un sistema tradicional y un sistema geotérmico se observa claramente en la Gráfica 9, para la misma demanda energética de la vivienda el consumo necesario es muy inferior en el caso de la bomba geotérmica comparado con el sistema tradicional, esto supone un ahorro de energía de un 77%.

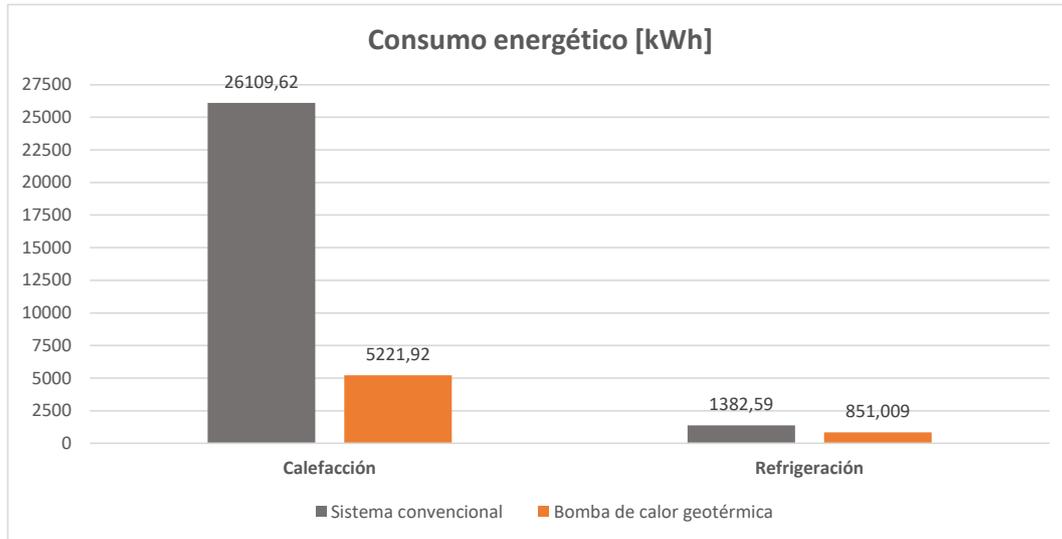


Gráfica 9. Demanda energética. Fuente propia.

Para un sistema convencional es ligeramente inferior la cantidad de energía que se tiene consumir que la que se aporta a la vivienda. En cambio, la magnitud de la energía consumida por el sistema geotérmico es menor que una cuarta parte de la energía que llega a suministrar.

Uno de los puntos de interés del sistema geotérmico reside en el alto rendimiento que posee este sistema en comparación con otros sistemas para climatización.

Para la bomba de calor elegida el COP es 4,6 y el EER es 5,2. Estos rendimientos son más elevados que la unidad, de manera que consigue producir entre 4 y 5 veces más energía térmica que la energía eléctrica consumida



Gráfica 10. Consumo energético. Fuente propia.

En la Gráfica 10 se muestra desglosado el consumo total de cada sistema en calefacción y refrigeración.

Para calefacción, en el sistema tradicional que emplea la caldera de gas, el rendimiento es de 0,92, lo que quiere decir que se va a consumir más cantidad de energía fósil que la cantidad de energía térmica que va a aportar. Esto supone un consumo muy elevado en comparación con las bombas de calor.

Para refrigeración, los consumos son muy similares debido a que en ambos casos se emplea una bomba de calor. Ambos tienen rendimientos superiores a la unidad lo que supone un consumo mínimo, pero la bomba de calor geotérmica sigue siendo más eficiente que la aerotermia. Esto es gracias al terreno que es un foco térmico más eficiente que el aire, con el que se consiguen valores de EER más altos. Además, el rendimiento para las bombas aerotérmicas baja frente a temperaturas exteriores extremas.

Se concluye que la bomba de calor geotérmica es una opción mucho más eficiente en cuanto a energía de consumo necesaria al contar con rendimientos muy superiores a la unidad. La gran virtud del sistema geotérmico reside en que con un mínimo aporte de energía eléctrica es capaz de producir una gran cantidad de energía térmica para climatizar una vivienda. Todo gracias al aprovechamiento del recurso energético que proporciona la temperatura del suelo y permite un funcionamiento óptimo de la máquina.

Se trata de una tecnología eficiente para calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria con unos importantes ahorros energéticos.

9.3 Estudio medioambiental

La energía geotérmica destaca por su bajo impacto medioambiental en comparación con otras fuentes de energía e incluso con otras fuentes renovables.

En este apartado se analiza las emisiones de CO₂ de un sistema de climatización convencional y para un sistema con energía geotérmica.

La instalación de energía geotérmica no precisa quemar combustibles, por consiguiente, no contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero. Solo consume energía eléctrica para el funcionamiento de los compresores y bombas, por tanto, las emisiones equivalentes de gases son únicamente las correspondientes a la producción de origen de la energía consumida en electricidad. Este valor es muy inferior a los sistemas tradicionales al reducir notablemente el consumo de energía eléctrica. [5]

A partir de las emisiones producidas por uso de cada combustible y el consumo de energía necesaria de cada sistema para satisfacer la demanda de la vivienda, se obtiene el valor de las emisiones de CO₂ anual para cada uno. De esta manera se tiene el impacto medioambiental de emisiones de CO₂ según el método de climatización elegido.

Las emisiones de CO₂ por kWh para cada combustible se muestran en la Tabla 29. [28] [29]

Tabla 29. Emisiones de CO₂ por combustible. Fuente propia.

Combustible	Emisiones [kg CO ₂ /kWh]
Gas natural	0,204
Electricidad	0,250

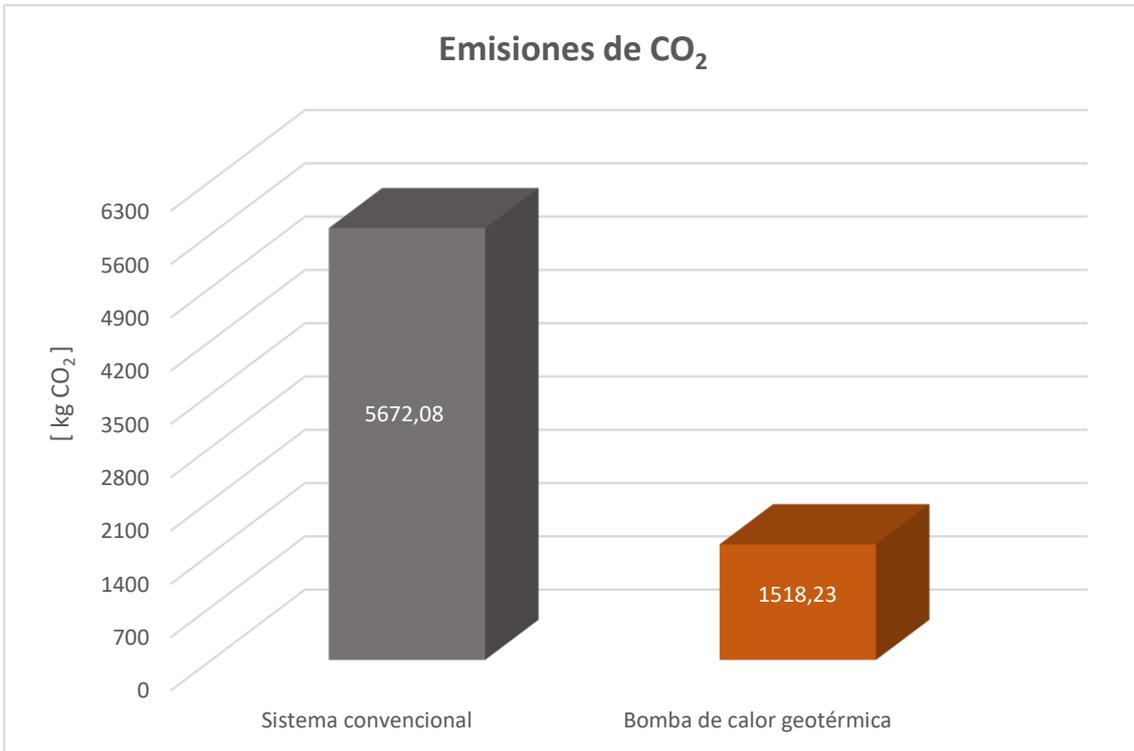
En la Tabla 30 se exponen las emisiones de CO₂ anuales que emite cada sistema de climatización.

Tabla 30. Emisiones de CO₂ según el sistema de climatización. Fuente propia.

	Sistema climatización	Combustible	Consumo energético [kWh]	Emisiones [kg CO ₂]
Sistema convencional	Caldera de gas	Gas natural	26109,62	5326,36
	Aire acondicionado	Electricidad	1382,89	345,72
	Total sistema convencional		27492,51	5672,08
Sistema geotérmico	Bomba de calor geotérmica	Electricidad	6072,93	1518,23

La cantidad de emisión de dióxido de carbono es muy distinta para cada instalación.

- Emisiones del sistema convencional: 6072,93 kg de CO₂
- Emisiones del sistema geotérmico: 1518,23 kg de CO₂



Gráfica 11. Emisiones de CO₂. Fuente propia.

En la Gráfica 11 se observa la diferencia entre las emisiones de CO₂ de ambos sistemas, siendo casi cuatro veces menor la emisión de este gas de efecto invernadero en la bomba de calor geotérmica respecto al sistema tradicional de climatización.

Un efecto positivo que considerar en la bomba de calor es que dichas emisiones no se emiten en el lugar de la instalación, siendo esto una ventaja importante en los núcleos urbanos contribuyendo a una menor acumulación de gases contaminantes en zonas donde la contaminación es un problema.

9.3.1 Cálculo del TEWI

Para medir el impacto que produce el sistema de refrigeración de la máquina a la atmósfera durante su vida útil se emplea el parámetro TEWI (*Total Equivalent Warming Impact*).

Corresponde con la contribución total al calentamiento global del proceso de refrigeración en uso. Mide ambos, el efecto directo del calentamiento global del refrigerante, si se emite, y la contribución indirecta de la energía necesaria para hacer funcionar el sistema de refrigeración. Sus unidades son kilogramos equivalentes de CO₂. [26]

Se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$TEWI = [PCA \cdot L \cdot n] + [PCA \cdot m \cdot (1 - \alpha)] + [n \cdot E_{anual} \cdot \beta] \quad (5)$$

Donde,

- PCA es el Potencial de Calentamiento Atmosférico del refrigerante referido al CO₂. Para el R410, una tonelada de este refrigerante produce 2088 kg de CO₂. Solo con este valor no se tiene el impacto total de producción de CO₂ ya que no se ha considerado el consumo energético del sistema.
- L son las fugas en kilogramos por año. Se estima un 5% de fugas.
- n es el tiempo de funcionamiento del sistema en años. La bomba está diseñada para una duración de 25 años. Se estima un uso de 2850 horas al año, lo que supone un tiempo de funcionamiento de la bomba de 8,1 años.
- m es la carga del refrigerante en kilogramos. En el catálogo de la bomba se establece una carga de 1 kg.
- α es el factor de recuperación, está comprendido entre 0 y 1. Se aproxima a 0,8.
- E_{anual} es el consumo energético en kWh al año. El consumo de energía anual de la red, para la vivienda de estudio corresponde con 6072,92 kWh.
- β es la emisión de CO₂ en kilogramos por kWh consumido. Para la producción de electricidad en España según el documento de factores de CO₂ se tiene una emisión de 0,250 kg de CO₂/kWh.

Aplicando la ecuación (5) con los datos citados anteriormente, el resultado es:

$$TEWI = 13560,903 \text{ kg equivalentes de } CO_2$$

Para 25 años de funcionamiento de la bomba de calor geotérmica en las condiciones estudiadas se obtiene un TEWI de 13560,903 kilogramos equivalentes de CO₂.

El valor del TEWI se especifica para una aplicación en un emplazamiento particular. Varía de un sistema a otro puesto que depende de las hipótesis realizadas respecto a los factores que se emplean en su cálculo. [26]

Por tanto, las comparaciones entre diferentes aplicaciones o diferentes emplazamientos no tienen mucha validez. En el caso concreto del refrigerante sí es posible comparar su impacto mediante el PCA de manera exacta.

10 Conclusiones

La geotermia es una fuente de energía renovable, limpia y eficiente como se ha visto a lo largo del proyecto. La climatización de una vivienda unifamiliar a partir de esta energía es viable y proporciona un ahorro energético en el consumo de energía.

Para la vivienda situada en la localidad de Boecillo en Valladolid se ha hecho un estudio aproximado del subsuelo a partir de la cartografía del Instituto Geológico y Minero al no poder realizar una medición en el emplazamiento.

Con ello, se ha obtenido una estimación de la temperatura del terreno y se ha representado en unos gráficos que muestran la variación de temperaturas del subsuelo a lo largo del año para diferentes profundidades.

A partir del programa informático CLIMA V2 se han obtenido las cargas térmicas de la vivienda unifamiliar, siendo 6,91 kW para la carga de refrigeración y -10,67 kW para la carga de calefacción. Con estos valores se ha seleccionado la bomba de calor geotérmica ecoGEO HTR Compact 3-12 kW monofásica.

Con dicho programa también se ha obtenido la demanda energética de la vivienda. En total se requiere una demanda anual de refrigeración de 4425,25 kWh y una demanda anual de calefacción de 24020,85 kWh para climatizar la vivienda, ésta última incluye una demanda de 2258,86 kWh para ACS con un consumo de 144 litros por día. En total, la demanda energética anual para la climatización de la vivienda es de 28446,1 kWh.

El dimensionamiento del intercambiador vertical se ha llevado a cabo mediante el programa EED. Está formado por dos sondas en simple U de 120 metros de profundidad cada una, separadas una distancia de seis metros. El fluido caloportador empleado es el etilenglicol y conociendo las temperaturas de trabajo de éste se ha afirmado que la vida útil para un funcionamiento óptimo del intercambiador es de 25 años.

Se ha realizado el estudio de viabilidad económico, energético y medioambiental de la instalación geotérmica.

La inversión inicial es de 24.993,52 €, siendo esto un coste inicial elevado en comparación con un sistema convencional. En el estudio de amortización realizado, se ha comprobado que la inversión se recupera a los 16 años y el VAN a los 25 años es de 20432,71€. Este ahorro viene dado por la disminución del consumo energético anual frente a un sistema convencional.

Esta reducción en el consumo es de un 77 % menos frente a un sistema convencional gracias al alto rendimiento de la instalación proporcionado por la energía geotérmica.

En el estudio medioambiental, se ha calculado que las emisiones de CO₂ por el uso de la instalación geotérmica se reducen en un 73 % frente a un sistema convencional. Se ha calculado el impacto medioambiental del sistema de refrigeración de la bomba geotérmica mediante el parámetro TEWI con un resultado de 13560,903 kg equivalentes de CO₂ a lo largo de su vida útil.

Como conclusión general, las ventajas principales de la instalación geotérmica son, su rentabilidad a medio plazo, las bajas emisiones de CO₂, la larga duración de los equipos, el ahorro en el consumo energético, bajo coste de mantenimiento, aprovechamiento de un recurso natural inagotable y presente todo el año de forma constante, así como una instalación discreta,

silenciosa y respetuosa con el medio ambiente en su ubicación, cubriendo las necesidades de climatización de frío y calor que busca el consumidor.

Por último, cabe señalar que la adopción de este sistema sostenible satisface a un consumidor que tiene inquietudes de tipo medioambiental que al margen de los costes económicos y del ahorro está concienciado con las energías renovables, lo que puede determinar su elección al plantearse la climatización de su vivienda. Esto no es fácilmente cuantificable por ser un factor sociológico pero le aporta un valor añadido a las instalaciones que emplean energía geotérmica.

11 Bibliografía

- [1] Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR) para el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) (2012). *Guía técnica de diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado*. Madrid: Editorial del IDAE.
- [2] Inge expert. *Diseño de instalaciones de Geotermia somera*.
- [3] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), Instituto Geológico y Minero de España (IGME) (2007). *Manual de la geotermia*. Madrid: Editorial del IDAE.
- [4] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (2014) *Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios*. Madrid: Editorial del IDAE.
- [5] Llopis Trillo, G., Rodrigo Angulo, V. *Guía de la Energía Geotérmica*. Madrid: Editorial UPM.
- [6] Sánchez, 2011. Tecnología y recursos de la tierra, S.A: Sánchez Guzmán, J., Sanz López, L., Ocaña Robles, L. (2011). *Evaluación del potencial de energía geotérmica. Estudio Técnico PER 2011-2020*. Madrid: Editorial del IDAE.
- [7] Portal oficial de la Agencia Internacional de las Energías Renovables
<https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Statistics-Time-Series> [Consulta: 28 de mayo de 2021]
<https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Country-Rankings> [Consulta: 28 de mayo de 2021]
<https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Renewable-Energy-Balances/Final-Renewable-Energy-Consumption> [Consulta: 28 de mayo de 2021]
<https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Technologies> [Consulta: 28 de mayo de 2021]
- [8] Portal oficial de la Plataforma Española Tecnológica y de Innovación de Geotermia. (Geoplat)
<https://www.geoplat.org/energia-geotermica/#1475406851983-f1b4c8d3-7ea5>
[Consulta: 8 de mayo de 2021]
- [9] Portal oficial del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
<https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/plan-de-energias-renovables-2011-2020> [Consulta: 24 de mayo de 2021]
<http://estadisticas-bombasdecalor.idae.es/> [Consulta: 26 de mayo de 2021]
- [10] Portal oficial del Instituto Geológico y Minero de España
<https://www.igme.es/Geotermia/presentacion2.htm> [Consulta: 8 de mayo de 2021]

- <https://www.igme.es/Geotermia/masinform.htm> [Consulta: 8 de mayo de 2021]
- <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50Hoja.aspx?id=372&language=es> [Consulta: 17 de mayo de 2021]
- [11] Portal oficial de la Junta de Castilla y León
- <https://energia.jcyl.es/web/es/energias-renovables-ordenacion-energetica/geotermia-castilla-leon.html> [Consulta: 8 de mayo de 2021]
- <https://energia.jcyl.es/web/es/energias-renovables-ordenacion-energetica/normativa-energetica.html> [Consulta: 23 de mayo de 2021]
- <https://energia.jcyl.es/web/es/mineria/siemcalsa-sociedad-investigacion-explotacion.html> [Consulta: 21 de mayo de 2021]
- [12] Youtube, “Vídeo funcionamiento instalación geotérmica” en Youtube <<https://www.youtube.com/watch?v=m44z9BVehbQ>> [Consulta: 13 de junio de 2021]
- [13] Portal oficial de Google Maps
- <https://www.google.com/maps/place/41%C2%B032'49.7%22N+4%C2%B041'50.7%22W/@41.5470158,-4.697555,133m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x0:0x0!8m2!3d41.5471458!4d-4.6974149?hl=es> [Consulta: 17 de mayo de 2021]
- [14] Portal oficial de Meteoblue.
- https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/weatherarchive/boecillo_esp_a%C3%B1a_3127913?fcstlength=1y&year=2020&month=5 [Consulta: 12 de mayo de 2021]
- [15] Portal oficial del Instituto Geológico y Minero de España
- <https://www.igme.es/Geotermia/presentacion2.htm> [Consulta: 8 de mayo de 2021]
- <https://www.igme.es/Geotermia/masinform.htm> [Consulta: 8 de mayo de 2021]
- <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50Hoja.aspx?id=372&language=es> [Consulta: 17 de mayo de 2021]
- [16] Portal oficial del fabricante de bombas de calor EcoForest
- <https://ecoforest.com/es/component/content/article/18-spanish/blog/1044-la-aeroterminia-como-alternativa-a-las-calderas-de-gas-natural-o-gasoil?Itemid=345> [Consulta: 18 de junio de 2021]
- [17] Youtube, “¿Qué es el HTR? Mejoras importantes de rendimiento gracias a esta tecnología” en Youtube <<https://www.youtube.com/watch?v=TGHwUWZ0Ucs>> [Consulta: 14 de junio de 2021]
- [18] Portal oficial de la web e-ficiencia.
- <https://e-ficiencia.com/suelo-radiante-ventajas-funcionamiento-tipos/> [Consulta: 24 de junio de 2021]

- [19] Portal oficial de la web Preciogas
<https://preciogas.com/faq/precio-kwh> [Consulta: 21 de junio de 2021]
- [20] Portal oficial de la web de Gencat
https://canviclimatic.gencat.cat/es/actua/factors_demissio_associats_a_lenergia/#:~:t=El%20mix%20de%20la%20red%20el%C3%A9ctrica%20espa%C3%B1ola%20publica%20por%20la,25%20kg%20CO2%2FkWh. [Consulta: 27 de junio de 2021]
- [21] Portal oficial de la empresa de fluidos refrigerantes TORRINGTON.
<https://torrington.com.ar/blog/buenaspracticas/que-significa-tewi/> [Consulta: 25 de junio de 2021]
- [22] Gil Pérez-Hickman, E. (2014) *Análisis de la viabilidad de un sistema de energía geotérmica en una vivienda unifamiliar*. Trabajo de fin de grado. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- [23] Rodríguez, A. *Cálculo de una instalación geotérmica*. Trabajo de fin de grado. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya Barcelona Tech.
- [24] Pérez Ramírez de Arellano, A. (2015) *Proyecto de instalación geotérmica de muy baja entalpía destinada a refrigeración de vivienda unifamiliar*. Trabajo de fin de grado. Valencia: Universitat Politècnica de Valencia.
- [25] España. Código Técnico. BOE, 27 de diciembre de 2019 núm. 311, p. 140488-140674.
- [26] AENOR (2011). *Sistemas de refrigeración y bombas de calor. Requisitos de seguridad y medioambientales. Parte 1: Requisitos básicos, definiciones, clasificación y criterios de elección. (Anexo B)*. UNE.EN 378-1:2008+A1. Madrid: AENOR.
- [27] AENOR (2014). *Diseño, ejecución y seguimiento de una instalación geotérmica somera*. UNE 100715-1. Madrid: AENOR.
- [28] Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. Gobierno de España. (Abril 2021) Factores de emisión. *Registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono*.
- [29] Ministerio para la transición ecológica. *Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización*.
- [30] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (Febrero 2014) *Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios*. Madrid. Editorial del IDAE.

PRESUPUESTO

Tabla de contenido

1 Objetivo.....	4
2 Coste mano de obra	5
3 Coste Hardware.....	7
4 Coste Software	8
5 Presupuesto final.....	9

Índice de tablas

Tabla 1. Planificación de horas dedicadas a cada parte. Fuente propia.....	5
Tabla 2. Cuadro de precios mano de obra. Fuente propia.....	5
Tabla 3. Desglose coste de mano de obra. Fuente propia.....	6
Tabla 4. Cuadro de coste del Hardware. Fuente propia.	7
Tabla 5. Cuadro de costes del software. Fuente propia.....	8
Tabla 6. Presupuesto de ejecución por contrata. Fuente propia.....	9

1 Objetivo

El objetivo de esta parte es cuantificar de forma detallada el coste que supondría en un ámbito profesional la elaboración del proyecto presentado anteriormente.

Se ha dividido los costes del proyecto en:

- Costes de mano de obra
- Costes de hardware
- Costes de software

Únicamente se ha decidido considerar estos tres costes debido a que el trabajo realizado es meramente informático. En los apartados siguientes se muestra el desglose del presupuesto y el presupuesto final.

Los costes de la mano de obra han sido desglosados en su correspondiente apartado según la planificación y ejecución de tareas.

2 Coste mano de obra

En la Tabla 1 se encuentra la planificación del tiempo dedicado a cada tarea por parte del ingeniero, el tutor y el cotutor.

MOIJ = Mano de Obra Ingeniero Industrial Junior

MOC = Mano de Obra Cotutor

MOT = Mano de Obra Tutor

Tabla 1. Planificación de horas dedicadas a cada parte. Fuente propia.

	Horas MOIJ	Horas MOC	Horas MOT
1. PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO A REALIZAR	12	12	12
Reuniones para la planificación de los plazos de entrega	2	2	2
Búsqueda de trabajos relacionados	10		
Revisiones		10	10
2. INVESTIGACIÓN TEORÍA APLICABLE	76	5	0
Búsqueda de información sobre la geotermia	30		
Búsqueda de información sobre climatización de instalaciones	14		
Búsqueda de información sobre intercambiadores	12		
Búsqueda de datos para el proyecto	15		
Reuniones para aclaración de dudas	5	5	
3. CÁLCULOS DEL PROYECTO	110	9	0
Formación programas CLIMA y EER	6	2	
Cálculo temperatura media del terreno y demanda ACS	11	1	
Cálculo cargas térmicas y demanda energética	24	2	
Cálculo del intercambiador	15	2	
Representación gráficas y tablas	6		
Cálculo del presupuesto técnico	8	1	
Cálculo del estudio económico, energético y medioambiental	14	1	
Análisis de resultados	26		
4. INFORME DEL PROYECTO	102	0	0
Redacción del proyecto	92		
Elaboración del presupuesto	10		
TOTAL HORAS	300	26	12

Los costes de la mano de obran aparecen en la Tabla 2.

Tabla 2. Cuadro de precios mano de obra. Fuente propia.

CUADRO MANO DE OBRA					
Nº	CÓDIGO	DESIGNACIÓN	PRECIO (€)	HORAS	TOTAL (€)
1	MO.IIJ	Ingeniero Industrial Junior	16,50	300	4.950,00 €
2	MO.C	Cotutor	36,00	26	936,00 €
3	MO.T	Tutor	36,00	12	432,00 €
TOTAL MANO OBRA					6.318,00 €

Empleando los costes de la Tabla 1 y las horas dedicadas a cada tarea de la Tabla 2, se realiza la Tabla 3 en la que se descompone el precio total de la mano de obra para cada tarea del proyecto.

Tabla 3. Desglose coste de mano de obra. Fuente propia.

DESGLOSE MANO DE OBRA POR TAREAS				
Nº	DESIGNACIÓN	PRECIO (€)	HORAS	TOTAL (€)
1	PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO A REALIZAR		36	1.062,00 €
1.1	Reuniones para la planificación de los plazos de entrega		6	177,00 €
	MO.IIJ	16,5	2	33,00 €
	MO.C	36	2	72,00 €
	MO.T	36	2	72,00 €
1.2	Búsqueda de trabajos relacionados		10	165,00 €
	MO.IIJ	16,5	10	165,00 €
1.3	Revisiones		20	720,00 €
	MO.C	36	10	360,00 €
	MO.T	36	10	360,00 €
2	INVESTIGACIÓN TEORÍA APLICABLE		81	1.236,00 €
2.1	Búsqueda de información sobre la geotermia		30	495,00 €
	MO.IIJ	16,5	30	495,00 €
2.2	Búsqueda de información sobre climatización de instalaciones		14	231,00 €
	MO.IIJ	16,5	14	231,00 €
2.3	Búsqueda de información sobre intercambiadores		12	- €
	MO.IIJ	0	12	- €
2.4	Búsqueda de datos para el proyecto		15	247,50 €
	MO.IIJ	16,5	15	247,50 €
2.5	Reuniones para aclaración de dudas		10	262,50 €
	MO.IIJ	16,5	5	82,50 €
	MO.C	36	5	180,00 €
3	CÁLCULOS DEL PROYECTO		119	1.971,00 €
3.1	Formación programas CLIMA y EER		8	171,00 €
	MO.IIJ	16,5	6	99,00 €
	MO.C	36	2	72,00 €
3.2	Cálculo temperatura media del terreno y demanda ACS		12	217,50 €
	MO.IIJ	16,5	11	181,50 €
	MO.C	36	1	36,00 €
3.3	Cálculo cargas térmicas y demanda energética		26	468,00 €
	MO.IIJ	16,5	24	396,00 €
	MO.C	36	2	72,00 €
3.4	Cálculo del intercambiador		17	319,50 €
	MO.IIJ	16,5	15	247,50 €
	MO.C	36	2	72,00 €
3.5	Representación gráficas y tablas		6	99,00 €
	MO.IIJ	16,5	6	99,00 €
3.6	Cálculo del presupuesto técnico		9	168,00 €
	MO.IIJ	16,5	8	132,00 €
	MO.C	36	1	36,00 €
3.7	Cálculo del estudio económico, energético y medioambiental		15	267,00 €
	MO.IIJ	16,5	14	231,00 €
	MO.C	36	1	36,00 €
3.8	Análisis de resultados		26	429,00 €
	MO.IIJ	16,5	26	429,00 €
4	INFORME DEL PROYECTO		102	1.683,00 €
4.1	Redacción del proyecto		92	1.518,00 €
	MO.IIJ	16,5	92	1.518,00 €
4.2	Elaboración del presupuesto		10	165,00 €
	MO.IIJ	16,5	10	165,00 €
TOTAL MANO DE OBRA				5.952,00 €

3 Coste Hardware

La herramienta de trabajo para la elaboración del proyecto es un ordenador. Se considera que el tutor y la cotutora cuentan con un ordenador propio, por lo que no se incluyen en el presupuesto.

Se ha tenido en cuenta que el ordenador del ingeniero industrial no es de uso único para este proyecto. Por ello, se realiza el cálculo de la depreciación considerando una vida útil de 8 años.

Tabla 4. Cuadro de coste del Hardware. Fuente propia.

Nº	PRODUCTO	CANTIDAD	COSTE	DEPRECIACIÓN
1	Ordenador portátil HP Pavilion x360 convertible intel Core i5 RAM 8GB. SSD 512GB	1 unidad	900,00 €	98,44 €
TOTAL HARDWARE				98,44 €

El coste total y la depreciación que se ha indicado del hardware contiene el Impuesto Sobre el Valor Añadido (IVA) del 21%

4 Coste Software

En este apartado aparecen los costes procedentes de los softwares necesarios para la realización del proyecto. Las licencias de los programas utilizados han sido proporcionadas por la universidad y debido a esto, el coste ha sido nulo.

Hay que remarcar que estas licencias son de uso educativo, en el caso de que el proyecto se realizase con una empresa, habría que adquirirlas porque sería de uso profesional y por tanto el coste del presupuesto se incrementaría.

Algunos de los programas utilizados son de uso gratuito o vienen incorporados en el ordenador que se ha utilizado.

Tabla 5. Cuadro de costes del software. Fuente propia.

Nº	SOFTWARE	CANTIDAD	COSTE
1	Licencia de Microsoft Office 365	1 unidad	- €
2	Licencia de AutoCAD 2022	1 unidad	- €
3	Licencia de CLIMA	1 unidad	- €
4	Licencia de EED	1 unidad	- €
5	Licencia de Retscreen	1 unidad	- €
TOTAL SOFTWARE			- €

5 Presupuesto final

Por último, se muestra en la Tabla 6 el presupuesto de ejecución por contrata del proyecto.

Tabla 6. Presupuesto de ejecución por contrata. Fuente propia.

DESCRIPCIÓN	COSTE
COSTE DE MANO DE OBRA	5.952,00 €
COSTE HARDWARE	98,43 €
COSTE SOFTWARE	- €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	6.050,43 €
10% GASTOS GENERALES	605,04 €
6% BENEFICIO INDUSTRIAL	363,03 €
SUMA	7.018,50 €
21% IVA	1.473,88 €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA	8.492,38 €

El coste final del presupuesto es de *OCHO MIL CUATROCIENTOS NOVENTA Y DOS CON TREINTA Y OCHO EUROS*.

ANEXO

Tabla de contenido

Índice de figuras	3
1 Mapa de oscilación térmica en España	4
2 Mapa geológico de Valladolid	5
3 Informe de cargas térmicas.....	8
.....	8
.....	9
.....	11
.....	12
4 Catálogo bomba de calor	14
5 Informe del intercambiador	15
6 Tabla de zonas climáticas.....	18
7 Valores límite de transmitancia térmica	19
8 Tabla de conductividades.....	20
9 Factor de ponderación y factor de corrección	21
10 Temperatura del agua de la red.....	22

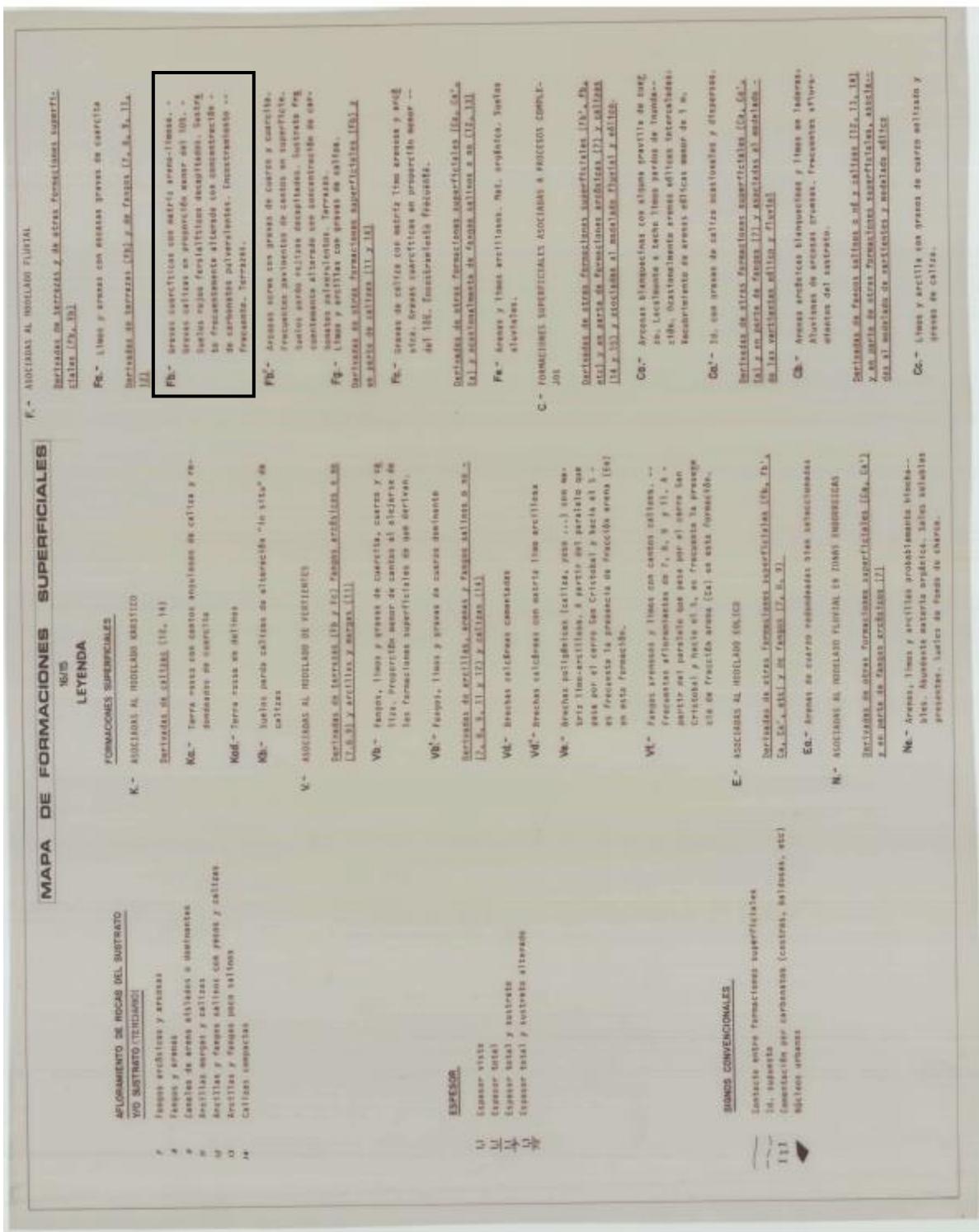
Índice de figuras

Figura 1. Mapa oscilación térmica en España. Fuente: Instituto Geográfico Nacional.....	4
Figura 2.. Mapa geológico de detalle de una zona de la provincia de Valladolid. Fuente: archivo de la web del Instituto Geológico y Minero de España.....	5
Figura 3. Ampliación del mapa geológico de detalle de una zona de la provincia de Valladolid. Fuente: archivo de la web del Instituto Geológico y Minero de España.	6
Figura 4. Leyenda del mapa geológico de detalle de una zona de la provincia de Valladolid. Fuente: archivo de la web del Instituto Geológico y Minero de España.	7
Figura 5. Informe de cargas térmicas. Fuente propia.	8
Figura 6. Especificaciones técnicas de la bomba de calor geotérmica. Fuente: catálogo de ecoForest.....	14
Figura 7. Especificaciones técnicas de la bomba de calor geotérmica. Fuente: catálogo de ecoForest.....	14
Figura 8. Informe de datos del intercambiador geotérmico (1). Fuente propia.....	15
Figura 9. Informe de datos del intercambiador geotérmico (2). Fuente propia.....	16
Figura 10. Informe de datos del intercambiador geotérmico (3). Fuente propia.....	17
Figura 11. Informe del intercambiador. Fuente: programa EED.....	17
Figura 12. Tabla de zonas climáticas de España. Fuente: Documento Básico HE. Ahorro de energía. BOE.....	18
Figura 13. Valores límite de transmitancia térmica. Fuente: Documento Básico HE. Ahorro de energía. BOE.....	19
Figura 14. Tabla de conductividades. Fuente: norma UNE 100715:1-2014.....	20
Figura 15. Tabla de conductividades. Fuente: norma UNE 100715:1-2014.....	20
Figura 16. Tabla de factores de ponderación y corrección. Fuente: documento de la Calificación Energética “Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios” del IDAE.	21
Figura 17. Tabla de factores de ponderación y corrección. Fuente: documento de la Calificación Energética “Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios” del IDAE.	21
Figura 18. Tabla de temperaturas medias del agua de la red para cada provincia (1). Fuente: Documento Básico HE. Ahorro de energía. BOE.	22
Figura 19. Tabla de temperaturas medias del agua de la red para cada provincia (2). Fuente: Documento Básico HE. Ahorro de energía. BOE.	23

1 Mapa de oscilación térmica en España



Figura 1. Mapa oscilación térmica en España. Fuente: Instituto Geográfico Nacional.



E.- ASOCIADAS AL HOYUADO SUBSTRATO

Enteada de arena, formaciones superficiales (16, 14, 15, 16, 17, 18, 19)

Ea.- Arena de cuarzo esponjosa y de dolinas

N.- ASOCIADAS AL HOYUADO SUBSTRATO

Enteada de arena, formaciones superficiales (16, 14, 15, 16, 17, 18, 19)

Nb.- Arenas, limas y arcillas proporcionalmente débiles. Abundante materia orgánica. Sólo visibles por el efecto de contraste.

F.- ASOCIADAS AL HOYUADO SUBSTRATO

Enteada de arena, formaciones superficiales (16, 14, 15, 16, 17, 18, 19)

Fa.- Limas y arenas con arenas gruesas de coque

Enteada de terrizas (18) y de fiegos (14, 15, 16, 17)

Fb.- Grueso coque con matriz arena-limo. Grueso calizo con proporción menor del 10%. Grueso rojo fosforilado desmenuzados. Grueso de fracción arena alivada con concentración de carbonatos polivalentes. Inconstruible. Frecuente. Terrizas.

Fc.- Arenas gruesas con gruesos de coque y coque. Frecuente avilamiento de canchales en superficie. Huecos arena calizas desmenuzados. Inconstruible. Grueso alivado con concentración de carbonatos polivalentes. Terrizas.

Fd.- Limas y arcillas con gruesos de calizas.

Enteada de arena, formaciones superficiales (16) y de arena de salinas (11 y 14)

Fe.- Grueso de calizas con matriz limo arena y de arena. Grueso coque con proporción menor del 10%. Inconstruible fosforilado.

C.- FORMACIONES SUPERFICIALES ASOCIADAS A PROCESOS COMPLEJOS

Enteada de arena, formaciones superficiales (16, 14, 15, 16, 17, 18, 19) y de arena de salinas (11) y arcillas (14, 15, 16) y arcillas al. masas (14) y dolinas.

Ca.- Arenas blanqueadas con arena gravilla de mar. Luchando a todo tipo de arena de mar. Inconstruible arena arcillosa (sarcobal) y de arena de mar de 3 m.

Cb.- Arena de salina sustituable y dispersa.

Cc.- Enteada de arena salina y de arena de salinas (11, 14, 15) y de arena de arena, formaciones superficiales, arcillas y al. masas de arena y arcillas.

Cd.- Limas y arcillas con gruesos de coque salino y gruesos de calizas.

Figura 4. Leyenda del mapa geológico de detalle de una zona de la provincia de Valladolid. Fuente: archivo de la web del Instituto Geológico y Minero de España.

3 Informe de cargas térmicas

DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL EDIFICIO

En este apartado se describen las características energéticas del edificio, envolvente térmica, condiciones de funcionamiento y ocupación y demás datos utilizados para el modelado del edificio.

DATOS DEL PROYECTO

Nombre del edificio	Vivienda unifamiliar en Boecillo
Referencia	
Fecha	29/05/2021
Empresa	
Autor	
Localidad	
Dirección	
Normativa construcción	CTE(Despues de 2013)

CONDICIONES EXTERIORES DE CÁLCULO PARA CARGAS TÉRMICAS

Ciudad	Valladolid (Observatorio) (2422)
Altitud[m]	735.00
Latitud[°]	41.65
Temperatura terreno[°C]	5.00
Temperatura exterior máxima[°C]	33.30
Humedad relativa coincidente	24.05
Temperatura exterior mínima[°C]	-2.80
Humedad relativa coincidente calefacción	89.40
Oscilación media anual[°C]	39.10
Oscilación media diaria[°C]	18.50
Oscilación media diaria invierno[°C]	0.50

CONDICIONES EXTERIORES DE CÁLCULO PARA SIMULACIÓN ENERGÉTICA

Fichero de datos climatológicos para cálculo de demanda	bin\valladolid.bin
---	--------------------

DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

Superficie acondicionada [m ²]	116
Volumen aire acondicionado [m ³]	347
Superficie no acondicionada [m ²]	0

Zonas de ventilación

Nombre	Locales	Tipo de ventilación	Temp Verano [°C]	Temp Invierno [°C]	Tipo de recuperador	Rendimiento	Rend. humect.
Zona_ventilacion	Vestíbulo Aseo Salón-Comedor Cocina Baño 1 Habitación Dormitorio Vestidor	Directa local	-	-	Sin recuperador	-	-

Figura 5. Informe de cargas térmicas. Fuente propia.

	Distribuidor Baño 2						
--	------------------------	--	--	--	--	--	--

Zonas de demanda

Nombre	Locales
Zona_demanda	Vestíbulo Aseo Salón-Comedor Cocina Baño 1 Habitación Dormitorio Vestidor Distribuidor Baño 2

Locales

Nombre	Tipo	Superficie [m ²]	Volumen [m ³]	Actividad	Numero de personas
Vestíbulo	Acondicionado	7.35	22.05	Residencial_Vestibulo	0
Aseo	Acondicionado	1.85	5.55	Residencial_Aseo	0
Salón-Comedor	Acondicionado	34.10	102.30	Residencial_Salón-Comedor	4
Cocina	Acondicionado	16.55	49.65	Residencial_Cocina	0
Baño 1	Acondicionado	4.35	13.05	Residencial_Baño 1	0
Habitación	Acondicionado	14.00	42.00	Residencial_Habitación	0
Dormitorio	Acondicionado	13.35	40.05	Residencial_Dormitorio	0
Vestidor	Acondicionado	8.35	25.05	Residencial_Vestidor	0
Distribuidor	Acondicionado	10.15	30.45	Residencial_Distribuidor	0
Baño 2	Acondicionado	5.60	16.80	Residencial_Baño 2	0

ENVOLVENTE TÉRMICA

Cerramientos opacos

Tipo	Local	Superficie [m ²]	Orientación	Composición	Transmitancia [W/ m ² K]	Peso [kg/m ²]
Muro_Exterior	Vestíbulo	9.45	Sur	MEI Ref. Z_D	0.66	186.47
Techo_Exterior	Vestíbulo	7.34	Horizontal	FEI Ref. Z_D	0.38	588.17
Suelo_Terreno	Vestíbulo	7.34	-	FIT Ref. Z_D	0.49	560.63
Muro_Exterior	Vestíbulo	1.24	Este	MEI Ref. Z_D	0.66	186.47
Muro_Interior	Aseo	4.20	-	Muro_int	0.99	163.65
Muro_Interior	Vestíbulo	4.20	-	Muro_int	0.99	163.65
Muro_Exterior	Aseo	3.60	Sur	MEI Ref. Z_D	0.66	186.47
Muro_Exterior	Aseo	6.06	Oeste	MEI Ref. Z_D	0.66	186.47
Muro_Interior	Salón-Comedor	6.60	-	Muro_int	0.99	163.65
Muro_Interior	Vestíbulo	6.60	-	Muro_int	0.99	163.65
Techo_Exterior	Aseo	1.85	Horizontal	FEI Ref. Z_D	0.38	588.17
Suelo_Terreno	Aseo	1.85	-	FIT Ref. Z_D	0.49	560.63
Muro_Exterior	Salón-Comedor	12.23	Oeste	MEI Ref. Z_D	0.66	186.47
Muro_Exterior	Salón-Comedor	12.23	Este	MEI Ref. Z_D	0.66	186.47
Techo_Exterior	Salón-Comedor	34.11	Horizontal	FEI Ref. Z_D	0.38	588.17
Suelo_Terreno	Salón-Comedor	34.11	-	FIT Ref. Z_D	0.49	560.63

Muro_Exterior	Cocina	9.18	Oeste	MEI Ref. Z_D	0.66	186.47
Techo_Exterior	Cocina	16.56	Horizontal	FEI Ref. Z_D	0.38	588.17
Suelo_Terreno	Cocina	16.56	-	FIT Ref. Z_D	0.49	560.63
Muro_Exterior	Cocina	5.62	Este	MEI Ref. Z_D	0.66	186.47
Muro_Exterior	Cocina	10.50	Norte	MEI Ref. Z_D	0.66	186.47
Suelo_Terreno	Baño 1	4.37	-	FIT Ref. Z_D	0.49	560.63
Techo_Exterior	Baño 1	4.37	Horizontal	FEI Ref. Z_D	0.38	588.17
Muro_Exterior	Baño 1	4.86	Oeste	MEI Ref. Z_D	0.66	186.47
Muro_Exterior	Baño 1	7.65	Norte	MEI Ref. Z_D	0.66	186.47
Muro_Otro	Baño 1	7.65	-	MuroInteriorRef	0.58	164.40
Suelo_Terreno	Habitación	13.99	-	FIT Ref. Z_D	0.49	560.63
Techo_Exterior	Habitación	13.99	Horizontal	FEI Ref. Z_D	0.38	588.17
Muro_Exterior	Habitación	7.50	Sur	MEI Ref. Z_D	0.66	186.47
Suelo_Terreno	Dormitorio	13.32	-	FIT Ref. Z_D	0.49	560.63
Techo_Exterior	Dormitorio	13.32	Horizontal	FEI Ref. Z_D	0.38	588.17
Muro_Exterior	Dormitorio	6.51	Este	MEI Ref. Z_D	0.66	186.47
Muro_Exterior	Dormitorio	9.33	Sur	MEI Ref. Z_D	0.66	186.47
Suelo_Terreno	Vestidor	8.35	-	FIT Ref. Z_D	0.49	560.63
Techo_Exterior	Vestidor	8.35	Horizontal	FEI Ref. Z_D	0.38	588.17
Muro_Exterior	Vestidor	4.80	Este	MEI Ref. Z_D	0.66	186.47
Muro_Exterior	Vestidor	6.93	Norte	MEI Ref. Z_D	0.66	186.47
Suelo_Terreno	Distribuidor	10.18	-	FIT Ref. Z_D	0.49	560.63
Muro_Exterior	Distribuidor	-0.00	Este	MEI Ref. Z_D	0.66	186.47
Techo_Exterior	Distribuidor	10.18	Horizontal	FEI Ref. Z_D	0.38	588.17
Muro_Exterior	Distribuidor	22.20	Norte	MEI Ref. Z_D	0.66	186.47
Muro_Exterior	Distribuidor	-0.00	Oeste	MEI Ref. Z_D	0.66	186.47
Suelo_Terreno	Baño 2	100.00	-	FIT Ref. Z_D	0.49	560.63
Techo_Exterior	Baño 2	100.00	Horizontal	FEI Ref. Z_D	0.38	588.17
Muro_Exterior	Baño 2	29.40	Sur	MEI Ref. Z_D	0.66	186.47
Muro_Interior	Aseo	30.00	-	Muro_int	0.99	163.65
Muro_Interior	Salón-Comedor	30.00	-	Muro_int	0.99	163.65
Muro_Interior	Salón-Comedor	3.30	-	Muro_int	0.99	163.65
Muro_Interior	Cocina	3.30	-	Muro_int	0.99	163.65
Muro_Interior	Baño 1	2.43	-	Muro_int	0.99	163.65
Muro_Interior	Distribuidor	2.43	-	Muro_int	0.99	163.65
Muro_Interior	Habitación	9.39	-	Muro_int	0.99	163.65
Muro_Interior	Distribuidor	9.39	-	Muro_int	0.99	163.65
Muro_Interior	Dormitorio	9.03	-	Muro_int	0.99	163.65
Muro_Interior	Vestidor	9.03	-	Muro_int	0.99	163.65
Muro_Interior	Distribuidor	10.50	-	Muro_int	0.99	163.65
Muro_Interior	Habitación	10.50	-	Muro_int	0.99	163.65
Muro_Interior	Dormitorio	8.70	-	Muro_int	0.99	163.65
Muro_Interior	Baño 2	8.70	-	Muro_int	0.99	163.65
Muro_Interior	Habitación	10.50	-	Muro_int	0.99	163.65
Muro_Interior	Baño 2	10.50	-	Muro_int	0.99	163.65

Huecos y lucernarios

Tipo	Local	Superficie [m ²]	Orientación	Composición	Transmitancia [W/ m ² K]	Factor Solar
Ventana_Exterior	Vestibulo	0.40	Sur	HuecoRef	2.50	0.45

Ventana_Exterior	Vestíbulo	0.40	Sur	HuecoRef	2.50	0.45
Ventana_Exterior	Vestíbulo	0.40	Sur	HuecoRef	2.50	0.45
Puerta_Exterior	Vestíbulo	2.30	Este	HuecoRef	2.50	0.45
Ventana_Exterior	Vestíbulo	0.90	Este	HuecoRef	2.50	0.45
Ventana_Exterior	Vestíbulo	2.01	Este	HuecoRef	2.50	0.45
Ventana_Exterior	Aseo	0.24	Oeste	HuecoRef	2.50	0.45
Ventana_Exterior	Salón-Comedor	5.00	Oeste	HuecoRef	2.50	0.45
Ventana_Exterior	Salón-Comedor	5.00	Oeste	HuecoRef	2.50	0.45
Ventana_Exterior	Salón-Comedor	5.00	Este	HuecoRef	2.50	0.45
Puerta_Exterior	Salón-Comedor	5.00	Este	HuecoRef	2.50	0.45
Ventana_Exterior	Cocina	1.44	Oeste	HuecoRef	2.50	0.45
Puerta_Exterior	Cocina	5.00	Este	HuecoRef	2.50	0.45
Ventana_Exterior	Baño 1	0.24	Oeste	HuecoRef	2.50	0.45
Puerta_Exterior	Habitación	4.50	Sur	HuecoRef	2.50	0.45
Ventana_Exterior	Dormitorio	2.25	Este	HuecoRef	2.50	0.45
Puerta_Exterior	Dormitorio	4.50	Sur	HuecoRef	2.50	0.45
Ventana_Exterior	Vestidor	1.80	Norte	HuecoRef	2.50	0.45
Ventana_Exterior	Distribuidor	3.90	Este	HuecoRef	2.50	0.45
Ventana_Exterior	Distribuidor	3.90	Oeste	HuecoRef	2.50	0.45
Ventana_Exterior	Distribuidor	3.60	Norte	HuecoRef	2.50	0.45
Ventana_Exterior	Baño 2	0.60	Sur	HuecoRef	2.50	0.45

ACTIVIDADES, DISTRIBUCIONES Y COMPOSICIONES

Actividades

Nombre	m ² /pers	Numero personas	Distribución personas	Actividad	Pot. sen. [W/pers]	Pot. lat. [W/pers]
Residencial__Vestíbulo	Sin personas	0	Residencial_personas	De pie trabajo muy ligero	86.00	79.00
Residencial__Aseo	Sin personas	0	Residencial_personas	Sentado trabajo ligero	82.00	62.00
Residencial__Salón-Comedor	8.53	4	Residencial_personas	Sentado reposo	71.00	31.00
Residencial__Cocina	Sin personas	0	Residencial_personas	De pie trabajo moderado	98.00	129.00
Residencial__Baño 1	25.00	0	Residencial_personas	Sentado trabajo ligero	82.00	62.00
Residencial__Habitación	Sin personas	0	Residencial_personas	Sentado reposo	71.00	31.00
Residencial__Dormitorio	Sin personas	0	Residencial_personas	Sentado reposo	71.00	31.00
Residencial__Vestidor	Sin personas	0	Residencial_personas	De pie trabajo muy ligero	86.00	79.00
Residencial__Distribuidor	Sin personas	0	Residencial_personas	Sentado trabajo ligero	82.00	62.00
Residencial__Baño 2	Sin personas	0	Residencial_personas	Sentado trabajo ligero	82.00	62.00

Nombre	Pot. luces [W/m ²]	Tipo luces	Distribución luces	Pot. sensible equipos [W/m ²]	Pot. latente equipos [W/m ²]	Distribución equipos
--------	--------------------------------	------------	--------------------	---	--	----------------------

Residencial__Vestíbulo	7.00	Incandescente	Residencial_luces	5.00	0.00	Residencial_equipos
Residencial__Aseo	7.00	Incandescente	Residencial_luces	5.00	0.00	Residencial_equipos
Residencial__Salón-Comedor	7.00	Incandescente	Residencial_luces	5.00	0.00	Residencial_equipos
Residencial__Cocina	7.00	Incandescente	Residencial_luces	5.00	0.00	Residencial_equipos
Residencial__Baño 1	7.00	Incandescente	Residencial_luces	5.00	0.00	Residencial_equipos
Residencial__Habitación	7.00	Incandescente	Residencial_luces	5.00	0.00	Residencial_equipos
Residencial__Dormitorio	7.00	Incandescente	Residencial_luces	5.00	0.00	Residencial_equipos
Residencial__Vestidor	7.00	Incandescente	Residencial_luces	5.00	0.00	Residencial_equipos
Residencial__Distribuidor	7.00	Incandescente	Residencial_luces	5.00	0.00	Residencial_equipos
Residencial__Baño 2	7.00	Incandescente	Residencial_luces	5.00	0.00	Residencial_equipos

Nombre	Ventilación [m³/h.persona]	Distribución ventilación
Residencial_Vestíbulo	18.00	Residencial_personas
Residencial_Aseo	18.00	Residencial_personas
Residencial_Salón-Comedor	18.00	Residencial_personas
Residencial_Cocina	18.00	Residencial_personas
Residencial_Baño 1	18.00	Residencial_personas
Residencial_Habitación	18.00	Residencial_personas
Residencial_Dormitorio	18.00	Residencial_personas
Residencial_Vestidor	18.00	Residencial_personas
Residencial_Distribuidor	18.00	Residencial_personas
Residencial_Baño 2	18.00	Residencial_personas

Distribuciones

Nombre	Valores horarios
Residencial_personas	Hora 0: 100.000
	Hora 1: 100.000
	Hora 2: 100.000
	Hora 3: 100.000
	Hora 4: 100.000
	Hora 5: 100.000
	Hora 6: 100.000
	Hora 7: 100.000
	Hora 8: 100.000
	Hora 9: 100.000
	Hora 10: 100.000
	Hora 11: 100.000
	Hora 12: 100.000
	Hora 13: 100.000
	Hora 14: 100.000
	Hora 15: 100.000
	Hora 16: 100.000
	Hora 17: 100.000
	Hora 18: 100.000
	Hora 19: 100.000
	Hora 20: 100.000
	Hora 21: 100.000
	Hora 22: 100.000
	Hora 23: 100.000
Residencial_luces	Hora 0: 0.000
	Hora 1: 0.000

	Hora 2: 0.000 Hora 3: 0.000 Hora 4: 0.000 Hora 5: 0.000 Hora 6: 0.000 Hora 7: 50.000 Hora 8: 100.000 Hora 9: 100.000 Hora 10: 10.000 Hora 11: 10.000 Hora 12: 10.000 Hora 13: 10.000 Hora 14: 10.000 Hora 15: 10.000 Hora 16: 10.000 Hora 17: 10.000 Hora 18: 10.000 Hora 19: 50.000 Hora 20: 100.000 Hora 21: 100.000 Hora 22: 100.000 Hora 23: 50.000
Residencial_equipos	Hora 0: 0.000 Hora 1: 0.000 Hora 2: 0.000 Hora 3: 0.000 Hora 4: 0.000 Hora 5: 0.000 Hora 6: 0.000 Hora 7: 50.000 Hora 8: 100.000 Hora 9: 100.000 Hora 10: 100.000 Hora 11: 100.000 Hora 12: 100.000 Hora 13: 100.000 Hora 14: 100.000 Hora 15: 100.000 Hora 16: 100.000 Hora 17: 100.000 Hora 18: 100.000 Hora 19: 100.000 Hora 20: 100.000 Hora 21: 100.000 Hora 22: 100.000 Hora 23: 100.000

Composiciones cerramientos

Nombre	Capas	Transmitancia [W/m²K]	Peso [kg/m²]	He [W/m²K]	Hi [W/m²K]
MEI Ref. Z_D	ref Mortero de cemento (1.5cm) ref Ladrillo perforado (11.5cm) ref Aislante (3.9cm) ref Ladrillo hueco (4.0cm) ref Enlucido de yeso (1.5cm)	0.66	186.470	25.00	7.69

ecoGEO Compact 3-12 kW

		C1 3-12_230V	C1 3-12_400V	C2 3-12_230V	C2 3-12_400V	C3 3-12_230V	C3 3-12_400V	C4 3-12_230V	C4 3-12_400V
ecoGEO	Referencia	31213/1	33213/1	31223/1	33223/1	ND	ND	ND	ND
	Precio	9.050 €	9.310 €	9.550 €	9.810 €	ND	ND	ND	ND
ecoGEO EH	Referencia	31212/1	33212/1	31222/1	33222/1	ND	ND	ND	ND
	Precio	9.250 €	9.510 €	9.750 €	10.010 €	ND	ND	ND	ND
ecoGEO HTR	Referencia	31211/1	33211/1	31221/1	33221/1	31231/1	33231/1	31241/1	33241/1
	Precio	9.450 €	9.710 €	9.950 €	10.210 €	10.050 €	10.310 €	10.650 €	10.910 €
ecoGEO HTR EH	Referencia	31210/1	33210/1	31220/1	33220/1	31230/1	33230/1	31240/1	33240/1
	Precio	9.650 €	9.910 €	10.150 €	10.410 €	10.250 €	10.510 €	10.850 €	11.110 €



EH: modelo con resistencia eléctrica de apoyo HTR: modelo con tecnología HTR ND: modelo no disponible

ESPECIFICACIONES ecoGEO B/C 3-12		UDS.	B1/C1	B2/C2	B3/C3	B4/C4
APLICACIÓN	Lugar instalación	-	Interior			
	Tipo sistema captación ¹	-	Geotérmico / Aerotérmico / Híbrido			
	ACS, Calefacción y Piscina	-	✓	✓	✓	✓
	Posibilidad de sistema recuperación alta temp. HTR	-	✓	✓	✓	✓
	Refrigeración activa integrada	-	-	-	✓	✓
	Refrigeración pasiva integrada	-	-	✓	-	✓
PRESTACIONES	Rango modulación compresor	%	20 a 100			
	Potencia calefacción ² , BOW35	kW	2,5 a 16,0			
	COP ³ , BOW35	-	4,6			
	Potencia refrigeración activa ³ , B35W7	kW	-	3,1 a 15,0		
	EER ³ , B35W7	-	-	5,2		
	Temperatura ACS máxima sin apoyo / con apoyo ⁴	°C	63 / 70			
	Nivel de potencia acústica ⁵	db	34 a 45			
LÍMITES DE OPERACIÓN	Etq. energét. / ηs / SCOP W35 con control clima medio	-	A+++ / 194% / 5,05			
	Etq. energét. / ηs / SCOP W55 con control clima medio	-	A++ / 142% / 3,75			
	Rango temperaturas calefacción / Consigna	°C	10 a 60 / 20 a 60			
	Rango temperaturas refrigeración / Consigna	°C	4 a 35 / 7 a 25			
	Rango temperaturas captación calefacción	°C	-25 a 35			
	Rango temperaturas disipación refrigeración	°C	10 a 60			
	Presión circuito refrigerante mínimo / máximo	bar	2 / 45			
	Presión circuito de producción / precarga	bar	0,5 a 3,0 / 1,5			
	Presión circuito de captación / precarga	bar	0,5 a 3,0 / 0,7			
	Volumen / Presión máx. acumulador ACS (ecoGEO C)	l / bar	165 / 8			
FLUIDOS DE TRABAJO	Carga de refrigerante R410A sin / con HTR	kg	0,9 / 1,0		1,0	
	Tipo de aceite del compresor / carga de aceite	kg	POE / 0,74			
	1/N/PE 230 V / 50-60 Hz ⁶	-	✓			
DATOS ELÉCTRICOS CONTROL	Protección externa máxima recomendada ⁸	-	C16A			
	Fusible circuito primario transformador	A	0,5			
	Fusible circuito secundario transformador	A	2,5			
	1/N/PE 230 V / 50-60 Hz ⁶	-	✓			
DATOS ELÉCTRICOS BOMBA DE CALOR MONOFÁSICA	Protección externa máxima recomendada ⁸	-	C32A			
	Consumo máximo ² , BOW35	kW / A	4,2 / 18,6			
	Consumo máximo ² , BOW55	kW / A	5,0 / 21,7			
	Intensidad arranque mínima / máxima ⁷	A	2,0 / 8,0			
	Corrección de coseno φ	-	0,96/1			
DATOS ELÉCTRICOS BOMBA DE CALOR TRIFÁSICA	1/N/PE 400 V / 50-60Hz ⁶	-	✓			
	Protección externa máxima recomendada ⁸	-	C16A			
	Consumo máximo ² , BOW35	kW / A	4,2 / 6,2			
	Consumo máximo ² , BOW55	kW / A	5,0 / 7,2			
	Intensidad arranque mínima / máxima ⁷	A	0,7 / 2,6			
DIMENSIONES Y PESO	Corrección de coseno φ	-	0,96-1			
	Altura x ancho x profundidad	mm	ecoGEO B: 1060x600x710 - ecoGEO C: 1804x600x720			
	Peso en vacío (sin ensamblaje)	kg	B 185 - C 246	B 193 - C 254	B 185 - C 246	B 193 - C 254

- Captación aerotérmica o híbrida sustituyendo o combinando el captador geotérmico por una o varias unidades aerotérmicas ecoGEO AU. Consulte el manual de las unidades aerotérmicas ecoGEO AU para información más detallada.
- Conforme a EN 14511, incluyendo el consumo de bombas de circulación y driver del compresor.
- Considerando caudales en los circuitos de captación y producción conforme a norma EN 14511.
- Considerando un calentamiento desde 20 a 50 °C en ausencia de consumos.
- Considerando un apoyo con la resistencia eléctrica de emergencia o con el sistema HTR. La temperatura máxima de ACS con el sistema HTR puede estar limitada por la temperatura de descarga del compresor.
- Conforme a EN 12102, incluyendo el kit de aislamiento acústico del compresor.
- Intensidad de arranque depende de condiciones de trabajo de los circuitos hidráulicos.
- El rango de tensión admisible para un correcto funcionamiento de la bomba de calor es de ±10%.
- El consumo máximo puede variar significativamente con las condiciones de trabajo, o si se limita el rango de operación del compresor. Consulte el manual de servicio técnico para información más detallada.
- Pendiente de certificación.

Figura 6. Especificaciones técnicas de la bomba de calor geotérmica. Fuente: catálogo de ecoForest.

5 Informe del intercambiador

EED Version 2.0 (October 15, 2000), license for JAVIER URCHUEGUA, FIS.UPV.ES

P. Eskilson, G. Hellstrom, J. Claesson, T. Blomberg, B. Sanner

Input file: C:\Users\Carla\Documents\INDUSTRIALES\ITFG GEOTERMIA\Catalogo\EED\Proyecto geotermia intercambiador.dat

This output file: PROYECTO GEOTERMIA INTERCAMBIADOR.OUT Date: 15/08/2021 Time: 19:14:58

MEMORY NOTES FOR PROJECT

-(no notes)

DESIGN DATA

=====

GROUND

Ground thermal conductivity 1.075 W/m,K
Ground heat capacity 2180000 J/m³,K
Ground surface temperature 12.80 °C
Geothermal heat flux 0.0600 W/m²

BOREHOLE

Configuration: 2 : 1 x 2, line
- g-function No. 1
Borehole depth 120.00 m
Borehole spacing 6.00 m
Borehole installation SINGLE-U
Borehole diameter 0.127 m
U-pipe diameter 0.032 m
U-pipe thickness 0.0030 m
U-pipe thermal conductivity 0.420 W/m,K
U-pipe shank spacing 0.0700 m
Filling thermal conductivity 2.000 W/m,K
Contact resistance pipe/filling 0.0000 K/(W/m)

THERMAL RESISTANCES

Borehole thermal resistances are calculated.

Number of multipoles 1

Internal heat transfer between upward and downward channel(s) is considered.

HEAT CARRIER FLUID

Thermal conductivity 0.480 W/m,K
Specific heat capacity 3795 J/kg,K
Density 1052 kg/m³
Viscosity 0.005200 kg/m.s
Freezing point -14.0 °C
Flow rate per borehole 0.002000 m³/s

BASE LOAD

Seasonal performance factor (heating) 4.60
Seasonal performance factor (cooling) 5.20

Monthly energy values

Month	Heat load	Cool load	(MWh)
JAN	4.99	0.00	
FEB	3.43	0.00	
MAR	2.80	0.00	
APR	1.93	0.00	
MAY	0.89	0.08	
JUN	0.22	0.71	
JUL	0.17	1.68	
AUG	0.08	1.49	
SEP	0.20	0.46	
OCT	1.36	0.00	
NOV	3.40	0.00	
DEC	4.54	0.00	

Total 24.02 4.42

PEAK LOAD

Monthly peak powers (kW)

Month	Peak heat	Duration	Peak cool	Duration
JAN	10.67	8.0	0.00	0.0

Figura 8. Informe de datos del intercambiador geotérmico (1). Fuente propia.

FEB	0.00	0.0	0.00	0.0
MAR	0.00	0.0	0.00	0.0
APR	0.00	0.0	0.00	0.0
MAY	0.00	0.0	0.00	0.0
JUN	0.00	0.0	0.00	0.0
JUL	0.00	0.0	6.91	8.0
AUG	0.00	0.0	0.00	0.0
SEP	0.00	0.0	0.00	0.0
OCT	0.00	0.0	0.00	0.0
NOV	0.00	0.0	0.00	0.0
DEC	0.00	0.0	0.00	0.0

Number of simulation years 25
 First month of operation SEP

CALCULATED VALUES

Total borehole length 240.0 m

THERMAL RESISTANCES

Borehole therm. res. internal 0.4283 K/(W/m)

Reynolds number 19814
 Thermal resistance fluid/pipe 0.0031 K/(W/m)
 Thermal resistance pipe material 0.0787 K/(W/m)
 Contact resistance pipe/filling 0.0000 K/(W/m)

Borehole therm. res. fluid/ground 0.0930 K/(W/m)

Effective borehole thermal res. 0.0932 K/(W/m)

SPECIFIC HEAT EXTRACTION RATE (W/m)

Month	Base load	Peak heat	Peak cool
JAN	22.31	34.79	-0.00
FEB	15.34	0.00	-0.00
MAR	12.49	0.00	-0.00
APR	8.63	0.00	-0.00
MAY	3.45	0.00	-0.00
JUN	-3.82	0.00	-0.00
JUL	-10.73	0.00	-34.33
AUG	-9.79	0.00	-0.00
SEP	-2.22	0.00	-0.00
OCT	6.05	0.00	-0.00
NOV	15.20	0.00	-0.00
DEC	20.28	0.00	-0.00

BASE LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month)

Month	Year 1	Year 2	Year 5	Year 10	Year 25
JAN	16.15	1.51	0.35	-0.34	-1.07
FEB	16.15	4.94	3.83	3.15	2.42
MAR	16.15	6.49	5.41	4.75	4.02
APR	16.15	8.71	7.66	7.01	6.29
MAY	16.15	11.85	10.84	10.19	9.47
JUN	16.15	16.37	15.40	14.76	14.05
JUL	16.15	20.92	19.98	19.35	18.65
AUG	16.15	21.06	20.16	19.54	18.84
SEP	17.44	17.07	16.20	15.59	14.90
OCT	12.74	12.21	11.35	10.75	10.06
NOV	7.05	6.49	5.65	5.06	4.37
DEC	3.41	2.85	2.02	1.44	0.75

BASE LOAD: YEAR 25

Minimum mean fluid temperature -1.07 °C at end of JAN
 Maximum mean fluid temperature 18.84 °C at end of AUG

PEAK HEAT LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month)

Month	Year 1	Year 2	Year 5	Year 10	Year 25
-------	--------	--------	--------	---------	---------

Figura 9. Informe de datos del intercambiador geotérmico (2). Fuente propia.

JAN	16.15	-1.58	-2.74	-3.42	-4.16
FEB	16.15	4.94	3.83	3.15	2.42
MAR	16.15	6.49	5.41	4.75	4.02
APR	16.15	8.71	7.66	7.01	6.29
MAY	16.15	11.85	10.84	10.19	9.47
JUN	16.15	16.37	15.40	14.76	14.05
JUL	16.15	20.92	19.98	19.35	18.65
AUG	16.15	21.06	20.16	19.54	18.84
SEP	17.44	17.07	16.20	15.59	14.90
OCT	12.74	12.21	11.35	10.75	10.06
NOV	7.05	6.49	5.65	5.06	4.37
DEC	3.41	2.85	2.02	1.44	0.75

PEAK HEAT LOAD: YEAR 25

Minimum mean fluid temperature -4.16 °C at end of JAN
Maximum mean fluid temperature 18.84 °C at end of AUG

PEAK COOL LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month)

Month	Year 1	Year 2	Year 5	Year 10	Year 25
JAN	16.15	1.51	0.35	-0.34	-1.07
FEB	16.15	4.94	3.83	3.15	2.42
MAR	16.15	6.49	5.41	4.75	4.02
APR	16.15	8.71	7.66	7.01	6.29
MAY	16.15	11.85	10.84	10.19	9.47
JUN	16.15	16.37	15.40	14.76	14.05
JUL	16.15	26.75	25.81	25.18	24.48
AUG	16.15	21.06	20.16	19.54	18.84
SEP	17.44	17.07	16.20	15.59	14.90
OCT	12.74	12.21	11.35	10.75	10.06
NOV	7.05	6.49	5.65	5.06	4.37
DEC	3.41	2.85	2.02	1.44	0.75

PEAK COOL LOAD: YEAR 25

Minimum mean fluid temperature -1.07 °C at end of JAN
Maximum mean fluid temperature 24.48 °C at end of JUL

***** END OF FILE *****

Figura 10. Informe de datos del intercambiador geotérmico (3). Fuente propia.
Fi

ANEJO B

Zonas climáticas

1. Zonas climáticas

1. La tabla a-Anejo B permite obtener la zona climática (Z.C.) de un emplazamiento en función de su provincia y su altitud respecto al nivel del mar (h):

Tabla a-Anejo B

Zonas climáticas

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	1051-1100 m	1101-1150 m	1151-1200 m	≥ 1200 m
Alicante/Valencia	C3										D3					E1									
Alicante/Valencia	B4					C3					D3														
Almería	A4			B4			B3			C3				D3											
Álava	D1										E1														
Asturias	C1			D1							D1					E1									
Ávila	D2										D1					E1									
Balears, Illes	C4					C3					D3														
Baleares, Illes	B3					C3					E1														
Barcelona	C2					D2					D1					E1									
Bizkaia	C1										D1														
Burgos	D1										E1														
Cáceres	C4										D3					E1									
Cádiz	A3			B3			C3			C2				D3				D2				E1			
Cantabria	C1			D1							D1					E1									
Castellón/Castelló	B3			C3							D3					D2					E1				
Ciudad Real	C4										C3					D3									
Córdoba	B4			C4							D3														
Córdoba, A	C1			D1							D3														
Cuenca	D3										D2					E1									
Euzkadi	D1										E1														
Girona	C2			D2			C3				E1														
Granada	A4			B4			C4			C3				D3				E1							
Guadalajara	A4			B4			D3			C3				D2				E1							
Huelva	A4			B4			B3			C3				D3											
Huesca	C3			D3							D2					E1									
Jalón	B4					C4					D3										E1				
León	E1										D3														
Lérida	C3			D1							D3					E1									
Lugo	D1										E1														
Madrid	C3										D3					D2					E1				
Málaga	A3			B3			C3				D3														
Malilla	A3										D3														
Murcia	B3			C3							D3														
Navarra	C2			D2			D1				E1														
Navarro	C3			C2			D1				D2					E1									
Palencia	D1										E1														
Palmas, Las	B3			A2							B2					C2									
Pontevedra	C1										D1														
Piña, La	C2			D2							D1					E1									
Salamanca	D2										A2					B2					E1				
Santa Cruz de Tenerife	B3			D2							A2					B2					C2				
Segovia	D2										E1														
Sevilla	B4			C4							D3														
Soria	D2										D1					E1									
Taragona	B3			C3							D3														
Tarazona	C3										C2					D2					E1				
Toledo	C4										D2					D3									
Valencia/València	B3			C3							D2					E1									
Valencia	D2										E1														
Zamora	D2										E1														
Zaragoza	C3			D3							E1														
Provincia	≤ 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	1051-1100 m	1101-1150 m	1151-1200 m	≥ 1200 m

Figura 12. Tabla de zonas climáticas de España. Fuente: Documento Básico HE. Ahorro de energía. BOE.

cve: BOE-A-2019-18528
 Verificable en <https://www.boe.es>

7 Valores límite de transmitancia térmica

Tabla 3.1.1.a-HE1

Valores límite de transmitancia térmica, U_{lim} [W/m²K]

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 <i>envolvente térmica</i> (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%.

Figura 13. Valores límite de transmitancia térmica. Fuente: Documento Básico HE. Ahorro de energía. BOE

Anexo F (Informativo)**Tabla de conductividades**

En la tabla F.1 se proporcionan valores de la conductividad térmica en W/mK y la capacidad térmica volumétrica en MJ/m³K para diferentes tipos de terrenos comunes.

Tabla F.1 – Tabla de conductividades

Tipo de terreno		Conductividad térmica (W/m·K)	Capacidad térmica volumétrica MJ/(m ³ ·K)
Materiales no consolidados	Limo/Arcilla seco	0,4 – 1,0	1,5 – 1,6
	Limo/Arcilla saturado	1,1 – 3,1	2,0 – 2,8
	Arena seca	0,3 – 0,9	1,3 – 1,6
	Arena húmeda	1,0 – 1,9	1,6 – 2,2
	Arena saturada	2,0 – 3,0	2,2 – 2,8
	Gravas secas	0,4 – 0,9	1,3 – 1,6
	Gravas saturadas	1,6 – 2,5	2,2 – 2,6
	Marga	1,1 – 2,9	1,5 – 2,5
	Turba	0,2 – 0,7	0,5 – 3,8
	Rocas sedimentarias	Lutita	1,1 – 2,9
Limolita		1,4 – 2,4	
Arenisca		1,9 – 3,5	1,8 – 2,6
Conglomerado		1,3 – 5,1	1,8 – 2,6
Mármol		1,8 – 2,9	2,2 – 2,3
Caliza		2,0 – 3,80	2,1 – 2,4
Dolomia		1,6 – 5,0	2,1 – 2,4
Anhidrita		1,5 – 7,7	2
Yeso		1,3 – 2,8	2
Roca salina		3,6 – 6,1	1,2
Antracita		0,3 – 0,6	1,3 – 1,8

Figura 14. Tabla de conductividades. Fuente: norma UNE 100715:1-2014.

9 Factor de ponderación y factor de corrección

	Febrero 2014
PRESTACIONES MEDIAS ESTACIONALES DE LAS BOMBAS DE CALOR PARA PRODUCCIÓN DE CALOR EN EDIFICIOS	

4. RESULTADOS

De esta forma los valores de los Factores son:

Tabla 4.1: Factor de ponderación (FP) para sistemas de Calefacción y/o ACS con bombas de caloren función de las fuentes energéticas, según la zona climática.

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

Tabla 4.2: Factores de corrección (FC) en función de las temperaturas de condensación, según la temperatura de ensayo del COP.

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

El valor del COP nominal de la bomba de calor será el obtenido de su ensayo, según la norma que les afecte (UNE-EN 14511: 2012, UNE-EN 15316: 2010, UNE-EN 16147, etc.) y obtenido para las condiciones de temperatura que correspondan a la zona climática en la que se instale y según la aplicación a la que abastezca.

Figura 16. Tabla de factores de ponderación y corrección. Fuente: documento de la Calificación Energética "Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios" del IDAE.

10 Temperatura del agua de la red



ANEJO G

Temperatura del agua de red

1. Temperatura media mensual del agua de red

1. La tabla a-Anejo G contiene la temperatura diaria media mensual (°C) del agua fría de red para las capitales de provincia, para su uso en el cálculo del consumo de ACS:

Tabla a-Anejo G

Temperatura diaria media mensual de agua fría (°C)

Capital de provincia	Altitud	EN	FE	MA	AB	MY	JN	JL	AG	SE	OC	NO	DI
A Coruña.	26	10	10	11	12	13	14	16	16	15	14	12	11
Albacete.	686	7	8	9	11	14	17	19	19	17	13	9	7
Alicante/Ibancant.	8	11	12	13	14	16	18	20	20	19	16	13	12
Almería.	16	12	12	13	14	16	18	20	21	19	17	14	12
Ávila.	1131	6	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6
Badajoz.	186	9	10	11	13	15	18	20	20	18	15	12	9
Barcelona.	12	9	10	11	12	14	17	19	19	17	15	12	10
Bilbao/Bibo.	6	9	10	10	11	13	15	17	17	16	14	11	10
Burgos.	929	5	6	7	9	11	13	16	16	14	11	7	6
Cáceres.	459	9	10	11	12	14	18	21	20	19	15	11	9
Cádiz.	14	12	12	13	14	16	18	19	20	19	17	14	12
Castellón/Castelló.	27	10	11	12	13	15	18	19	20	18	16	12	11
Ceuta.	40	11	11	12	13	14	16	18	18	17	15	13	12
Ciudad Real.	628	7	8	10	11	14	17	20	20	17	13	10	7
Córdoba.	106	10	11	12	14	16	19	21	21	19	16	12	10
Cuenca.	999	6	7	8	10	13	16	18	18	16	12	9	7
Girona.	70	8	9	10	11	14	16	19	18	17	14	10	9
Grenada.	683	8	9	10	12	14	17	20	19	17	14	11	8
Guadalajara.	685	7	8	9	11	14	17	19	19	16	13	9	7
Huelva.	30	12	12	13	14	16	18	20	20	19	17	14	12
Huesca.	488	7	8	10	11	14	16	19	18	17	13	9	7
Jaén.	568	9	10	11	13	16	19	21	21	19	15	12	9
Las Palmas de Gran Canaria.	13	15	15	16	16	17	18	19	19	19	18	17	16
León.	838	6	6	8	9	12	14	16	16	15	11	8	6
Lleida.	182	7	9	10	12	15	17	20	19	17	14	10	7
Logroño.	385	7	8	10	11	13	16	18	18	16	13	10	8
Lugo.	454	7	8	9	10	11	13	15	15	14	12	9	8
Madrid.	655	8	8	10	12	14	17	20	19	17	13	10	8

cve: BOE-A-2019-15528
 Verificable en <https://www.boe.es>

Figura 18. Tabla de temperaturas medias del agua de la red para cada provincia (1). Fuente: Documento Básico HE. Ahorro de energía. BOE.

Capital de provincia	Altitud	EN	FE	MA	AB	MY	JN	JL	AG	SE	OC	NO	DI
Málaga.	11	12	12	13	14	16	18	20	20	19	16	14	12
Melilla.	15	12	13	13	14	16	18	20	20	19	17	14	13
Murcia.	39	11	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11
Ourense.	139	8	10	11	12	14	16	18	18	17	13	11	9
Oviedo.	232	9	9	10	10	12	14	15	16	15	13	10	9
Palencia.	734	6	7	8	10	12	15	17	17	15	12	9	6
Palma de Mallorca.	15	11	11	12	13	15	18	20	20	19	17	14	12
Pamplona/Iruña.	490	7	8	9	10	12	15	17	17	16	13	9	7
Pontevedra.	27	10	11	11	13	14	16	17	17	16	14	12	10
Salamanca.	800	6	7	8	10	12	15	17	17	15	12	8	6
San Sebastián.	12	9	9	10	11	12	14	16	16	15	14	11	9
Santa Cruz de Tenerife.	5	15	15	16	16	17	18	20	20	20	18	17	16
Santander.	11	10	10	11	11	13	15	16	16	16	14	12	10
Segovia.	1002	6	7	8	10	12	15	18	18	15	12	8	6
Sevilla.	11	11	11	13	14	16	19	21	21	20	16	13	11
Soria.	1063	5	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6
Tarragona.	69	10	11	12	14	16	18	20	20	19	16	12	11
Teruel.	912	6	7	8	10	12	15	18	17	15	12	8	6
Toledo.	629	8	9	11	12	15	18	21	20	18	14	11	8
Valencia.	13	10	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11
Valadolid.	698	6	8	9	10	12	15	18	18	16	12	9	7
Vitoria-Gasteiz.	540	7	7	8	10	12	14	16	16	14	12	8	7
Zamora.	649	6	8	9	10	13	16	18	18	16	12	9	7
Zaragoza.	199	8	9	10	12	15	17	20	19	17	14	10	8

2. Para localidades distintas a las recogidas en la tabla a-Anejo G se podrá obtener la temperatura del agua fría de red (T_{AFY}) mediante la siguiente expresión:

$$T_{AFY} = T_{AFCP} - B \cdot A_z$$

donde:

T_{AFCP} es la temperatura media mensual de agua fría de la capital de provincia, obtenida de la tabla a-Anejo G;

B es un coeficiente de valor 0,0066 para los meses de octubre a marzo y 0,0033 para los meses de abril a septiembre;

A_z es la diferencia entre la altitud de la localidad y la de su capital de provincia ($A_z = \text{Altitud localid.} - \text{Altitud capital}$).

3. Alternativamente a los valores indicados en la tabla a-Anejo G, podrán utilizarse otras temperaturas de agua de red recogidas por fuentes de reconocida solvencia.

Figura 19. Tabla de temperaturas medias del agua de la red para cada provincia (2). Fuente: Documento Básico HE. Ahorro de energía. BOE.