



universidad
de león



Escuela de Ingenierías Industrial, Informática y Aeroespacial

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Fin de Grado

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UNA INSTALACIÓN
GEOTÉRMICA DE BAJA ENTALPÍA Y COMPARATIVA CON
OTRAS ENERGÉTICAS

DESIGN AND EVALUATION OF A LOW ENTHALPY
GEOTHERMAL INSTALLATION AND COMPARISON WITH
OTHER TYPES OF ENERGY

Autor: Alba Rodríguez Pérez
Tutor: Cristina Sáez Blázquez
David Borge Diez

(julio, 2023)

UNIVERSIDAD DE LEÓN
Escuela de Ingenierías Industrial, Informática y
Aeroespacial

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA
Trabajo de Fin de Grado

ALUMNO: Alba Rodríguez Pérez

TUTOR: Cristina Sáez Blázquez, David Borge Diez

TÍTULO: Diseño y evaluación de una instalación geotérmica de baja entalpía y comparativa con otras energéticas.

TITLE: Design and evaluation of a low enthalpy geothermal installation and comparison with other types of energy.

CONVOCATORIA: julio, 2023

RESUMEN: En este trabajo se realiza el diseño de una instalación geotérmica de calefacción para una vivienda unifamiliar de aproximadamente 170m². Para ello es importante conocer la demanda térmica de la vivienda, la cual se ha determinado empleando el software CE3X y una hoja de cálculo (Excel). También es fundamental tener conocimiento de las propiedades térmicas del terreno donde se colocarán las sondas de captación, para ello se emplean valores obtenidos a través de prospecciones geofísicas. Una vez se obtienen los datos mencionados anteriormente se pueden dimensionar las tres partes principales de la instalación, la bomba de calor, el sistema de captación y el sistema de emisión mediante un método simplificado. Para validar los resultados obtenidos se usa el Software EED, que es una herramienta muy empleada en sistemas geotérmicos de captación vertical. Finalmente se estima el coste total del proyecto y se comparan con otro tipo de sistemas empleados en la climatización en edificios. De igual modo, se analizan las emisiones de las distintas fuentes de energía.

ABSTRACT: This work involves the design of a geothermal heating system for an approximately 170m² residential property. To accomplish this, it's important to be aware of the thermal demand of the house, which has been determined using the CE3X software and a Excel. It's also essential to have knowledge of the thermal properties of the ground where the capture probes will be installed, which are obtained through geophysical prospecting. Once the aforementioned data is obtained, the three main components of the system, namely the heat pump, the capture system, and the emission system, can be dimensioned using a simplified method. The EED software, widely utilized in vertical geothermal capture systems, is employed to validate the obtained results. Finally, the total cost of the project is estimated and compared with other systems used in building heating. In the same way, the emissions from different energy sources are analyzed.

Palabras clave: geotermia, energía, instalación, bomba de calor.

Firma del alumno:	VºBº Tutor/es:
--------------------------	-----------------------

Índice

1.	Introducción	8
1.1.	OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	8
1.2.	ENERGÍA GEOTÉRMICA	8
1.2.1.	ORIGEN E HISTORIA.....	8
1.2.2.	CLASES Y APLICACIONES.....	10
1.2.3.	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.....	11
2.	Descripción del caso de estudio	17
2.1.	EMPLAZAMIENTO.....	17
2.2.	CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DE LA ZONA DE ESTUDIO	17
2.2.1.	CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS.....	17
2.2.2.	INFORMACIÓN GEOLÓGICA	19
2.3.	EDIFICACIÓN.....	21
3.	Prospecciones y ensayos	23
3.1.	CARACTERIZACIÓN TÉRMICA DEL TERRENO	23
4.	Cálculos	28
4.1.	DEMANDA ENERGÉTICA.....	28
4.2.	DISEÑO DEL SISTEMA GEOTÉRMICO	38
4.2.1.	PROCEDIMIENTO SIMPLIFICADO.....	38
4.2.1.1.	BOMBA DE CALOR	39
4.2.1.2.	CAMPO DE CAPTACIÓN GEOTÉRMICO	42
4.2.1.3.	SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	46
4.2.2.	SOFTWARE EED	48
5.	Comparación con otras fuentes de energía	54
5.1.	ESTUDIO ECONÓMICO	54
5.2.	ESTUDIO MEDIOAMBIENTAL.....	58
6.	Conclusiones.....	60
	Bibliografía.....	61

Índice de figuras

Figura 1.1 Variación de la temperatura con la profundidad del terreno. (Fuente: [1]).....	9
Figura 1.2 Esquema de principio de funcionamiento de una instalación geotérmica.....	12
Figura 1.3 Sistema de captación horizontal. (Fuente: [1])	13
Figura 1.4 Sistema de captación vertical. (Fuente: [1]).....	13
Figura 1.5 Pilote energético. (Fuente: [3])	14
Figura 1.6 Modos de funcionamiento de una bomba de calor. (Fuente: [4]).....	15
Figura 1.7 Suelo radiante. (Fuente: [5])	15
Figura 2.1 Ubicación de la vivienda. (Fuente: [6]).....	17
Figura 2.2 Condiciones climatológicas de proyecto en Ávila. (Fuente: [7])	18
Figura 2.3 Gráfica y datos de temperatura recogidos por la estación meteorológica de Ávila en 2022. (Fuente: [8]).....	19
Figura 2.4 Resumen de Valores de Temperatura máxima y mínima a lo largo de 2022. (Fuente: [8])	19
Figura 2.5 Mapa geológico correspondiente a la zona de estudio. (Fuente: [9])	20
Figura 2.6 Leyenda del mapa geológico correspondiente a la zona de estudio. (Fuente: [9])	20
Figura 2.7 Planos de la vivienda.	21
Figura 2.8 Dimensiones en (mm) de las ventanas presentes en la vivienda.	22
Figura 2.9 Dimensiones (en mm) de: a) Puertas interiores. b) Puertas del porche. c) Puerta de entrada.	22
Figura 3.1 Sismógrafo Stratavisor Nx - perteneciente a “Geometrics”	24
Figura 3.2 Distribución de los geófonos en la zona de estudio.....	24
Figura 3.3 Cableado para los geófonos.	25
Figura 3.4 Medidor de propiedades térmicas KD2-PRO. (Fuente: [10])	26
Figura 3.5 Distribución de conductividades térmicas en profundidad. (Fuente: [11])	27
Figura 3.6 Leyenda Figura 3.5. (Fuente: [11])	27
Figura 4.1 Pestaña de datos administrativos de CE3X. (Fuente: [12])	29
Figura 4.2 Pestaña de datos generales de CE3X. (Fuente: [12])	29
Figura 4.3 Sección de la Tabla a-ANEJO B del DB-HE-2 del CTE. (Fuente: [13])	30
Figura 4.4 Tabla a-Anejo F. Valores mínimos de ocupación de cálculo en uso residencial privado. (Fuente: [13]).....	30
Figura 4.5 Parámetros característicos del cerramiento de fachada. (Fuente: [12])	32
Figura 4.6 Parámetros característicos del suelo en contacto con el aire. (Fuente: [12])	33

Figura 4.7 Parámetros de huecos/lucernarios. (Fuente: [12])	33
Figura 4.8 Parámetros del equipo mixto de calefacción y ACS. (Fuente: [12]).....	35
Figura 4.9 Calificación energética. (Fuente: [12])	36
Figura 4.10 Valor de demanda de calefacción anual obtenido mediante Excel.	37
Figura 4.11 Gráfica de demanda de calefacción mensual obtenido mediante Excel.	38
Figura 4.12 Tabla 2.1 del DB-HS 3 del CTE. (Fuente: [13])	40
Figura 4.13 Características de la bomba geotérmica geoTHERM VWS. (Fuente: [17])	42
Figura 4.14 Sonda RAUGEO PE-Xa green. (Fuente: [18])	43
Figura 4.15 Pie de las sondas. (Fuente: [3])	43
Figura 4.16 Sistema en paralelo vertical. (Fuente: [4])	44
Figura 4.17 Esquema del sistema de suelo radiante seleccionado para la vivienda.	48
Figura 4.18 Propiedades del terreno. (Fuente: [20])	49
Figura 4.19 Pozo e intercambiador de calor. (Fuente: [20])	49
Figura 4.20 Fluido caloportador. (Fuente: [20]).....	50
Figura 4.21 Carga base. (Fuente: [20])	50
Figura 4.22 Pico de demanda de calefacción. (Fuente: [20]).....	51
Figura 4.23 Opciones para las perforaciones. (Fuente: [20]).....	52
Figura 4.24 Temperatura del fluido caloportador a lo largo de su vida útil. (Fuente: [20])	53
Figura 4.25 Temperatura del fluido en función de la profundidad. (Fuente: [20]).....	53
Figura 5.1 Amortización instalación geotérmica respecto a una caldera de gas natural.	56
Figura 5.2 Amortización instalación geotérmica respecto a una caldera de biomasa.....	57
Figura 5.3 Amortización instalación geotérmica respecto a una instalación solar térmica.	58

Índice de tablas

Tabla 1.1 Clases de energía geotérmica. (Fuente: [2]).....	11
Tabla 2.1 Superficie de la vivienda por zonas.	22
Tabla 3.1 Valores de conductividad térmica y velocidades de onda en la zona de estudio. (Fuente: [11]).....	26
Tabla 4.1 Superficie de los cerramientos según su orientación.....	31
Tabla 4.2 Superficie, %Ventana y transmitancia térmica de los distintos cerramientos....	37
Tabla 4.3 Datos de superficie, transmitancia y carga por transmisión correspondiente a cada cerramiento.....	39
Tabla 4.4 Dimensiones de los circuitos.	47
Tabla 5.1 Precios de la instalación geotérmica.	54

1. Introducción

1.1. OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo de este proyecto es el diseño de una instalación geotérmica de baja entalpía. La finalidad es aprovechar el calor almacenado en el subsuelo de manera sostenible y rentable, para cubrir las necesidades de calefacción y agua caliente sanitaria de un edificio. Se realizarán los cálculos necesarios para optimizar cada etapa del diseño, desde la captación del calor geotérmico hasta su distribución y utilización en el sistema de climatización, teniendo en cuenta las especificaciones de la normativa vigente. Además, se evaluará la viabilidad económica y los beneficios medioambientales, para finalmente realizar una comparativa con otras fuentes de energía usualmente empleadas en sistemas de calefacción.

1.2. ENERGÍA GEOTÉRMICA

1.2.1. ORIGEN E HISTORIA

La energía geotérmica es un tipo de energía renovable que utiliza el calor interno de la Tierra para alimentar sistemas de climatización o producir energía eléctrica de forma sostenible.

Se puede decir que el origen de este tipo de energía se encuentra en las aguas termales, que han sido empleadas desde hace miles de años con distintitos fines.

En 1818 Francesco Giacomo Larderel decidió utilizar el vapor geotérmico para la producción de ácido bórico. No obstante, su uso industrial comienza en el siglo XX cuando el Príncipe Gionori Conti promueve la construcción de una planta para la transformación de energía geotérmica en energía eléctrica en Larderello (Italia). Esta área sigue siendo actualmente una de las zonas geotérmicas más importantes.

A partir de 1973 hay una gran expansión en el empleo de esta energía, tanto en la producción de energía eléctrica como en su uso en sistemas de calefacción. También se han mejorado las técnicas de exploración y perforación, lo que ha llevado al descubrimiento de nuevos yacimientos.

El calor que es capaz de emitir la Tierra se cuantifica a través del flujo de calor superficial, entendido como la cantidad de calor que cede el planeta por unidad de superficie y tiempo. Este flujo se determina mediante el producto del gradiente geotérmico y la conductividad térmica del medio en cuestión. De esta forma, el gradiente geotérmico hace referencia a la variación de la temperatura con la profundidad, siguiendo genéricamente un aumento progresivo de 3 °C cada 100 metros de profundidad. Por su lado, la conductividad térmica se define como la capacidad de un material para transmitir el calor. Un valor típico de flujo de calor en continente suele ser de aproximadamente 60 mW/m², que puede descender hasta valores de 30 mW/m² en zonas continentales en las que la litosfera tiene mayor espesor, y superar valores de 120 mW/m² en zonas más actuales, en las que la litosfera tiene menor espesor.

Uno de los principales factores que propician el uso eficiente de los recursos geotérmicos es la distribución de temperaturas en profundidad. Tal y como se muestra en la siguiente Figura 1.1, a partir de profundidades superiores a 15 metros (valor dependiente de la localización del sistema), la temperatura del terreno permanece constante durante todo el año, con independencia de las condiciones climáticas externas.

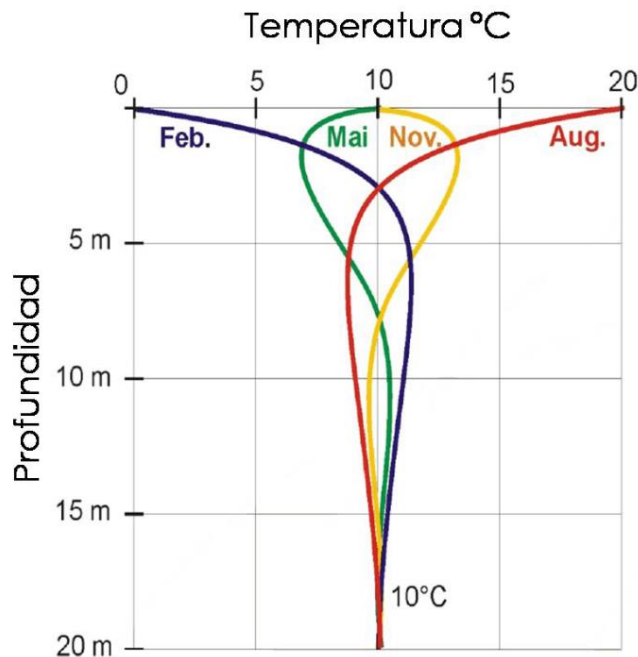


Figura 1.1 Variación de la temperatura con la profundidad del terreno. (Fuente: [1])

Algunas de las principales ventajas de la energía geotérmica son:

- Larga vida útil, ya que puede alcanzar los 50 años y el coste inicial se puede amortizar entre 5 y 10 años.
- Poco mantenimiento. La inexistencia de combustión en el proceso de calefacción hace que no se requiera un elevado mantenimiento.
- Energía continua. Es una fuente de energía disponible a lo largo de todo el año, al contrario que la solar y la eólica.
- Las bombas de calor empleadas tienen una elevada eficiencia.


Hoy en día, sigue desempeñando un importante papel en la transición hacia un futuro en el que el uso de fuentes de energía limpia y sostenible es fundamental.

1.2.2. CLASES Y APLICACIONES

Dependiendo del tipo de yacimiento, la energía geotérmica se puede clasificar según la temperatura de los recursos disponibles:

1. **Energía geotérmica de alta temperatura:** se puede aprovechar en zonas en las que la corteza terrestre supera los 150°C. Este tipo de áreas geológicas son escasas, por lo que se encuentran en zonas específicas del planeta, como Islandia, Filipinas y California. Las plantas geotérmicas de alta entalpia situadas en estas localizaciones se emplean para la producción de electricidad y suelen tener un rendimiento muy alto.
2. **Energía geotérmica de media temperatura:** en este caso la temperatura oscila entre los 150°C y 100°C, y como en el caso anterior, también se emplea para generar energía eléctrica, aunque con menor rendimiento.
3. **Energía geotérmica de baja temperatura:** aprovecha temperaturas comprendidas entre 100°C y 30°C. Tiene diversos usos, como su empleo en balnearios, sistemas de calefacción o procesos industriales.
4. **Energía geotérmica de muy baja temperatura:** para la que se utilizan temperaturas inferiores a 30°C, lo que hace que se la más extendida ya que se puede encontrar en prácticamente cualquier zona. Es la empleada en la climatización de viviendas, piscinas, pistas de hielo, etc.

A continuación, se muestra una tabla a modo de resumen (Tabla 1.1):



Tipo	Recurso	Rango de temperatura	Utilización
MUY BAJA ENTALPÍA	Subsuelo (con o sin agua)	5°C – 25°C	Climatización, ACS
	Aguas subterráneas	10°C – 22°C	
BAJA ENTALPÍA	Aguas termales	22°C – 50°C	Balnearios
	Zonas volcánicas	<100°C	District Heating
MEDIA ENTALPÍA		100°C – 150°C	Generación eléctrica
ALTA ENTALPÍA		>150°C	Generación eléctrica

Tabla 1.1 Clases de energía geotérmica. (Fuente: [2])

Cabe señalar que las temperaturas varían según la ubicación geográfica y la disponibilidad de recursos en cada área. Por lo que es importante el desarrollo de tecnologías avanzadas y la exploración de nuevos yacimientos con el objetivo de mejorar y ampliar los usos de las distintas temperaturas.

1.2.3. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Centrándonos en este trabajo en los sistemas geotérmicos de baja entalpía, el principio de funcionamiento genérico se muestra a continuación.

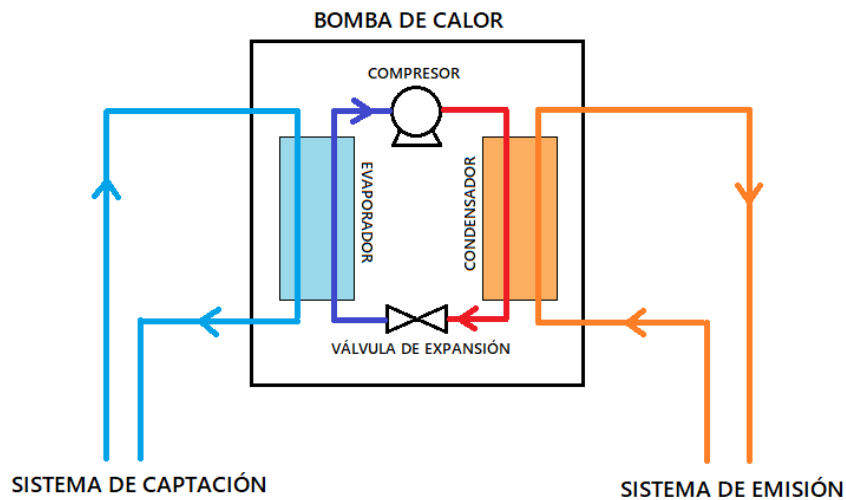


Figura 1.2 Esquema de principio de funcionamiento de una instalación geotérmica.

El principio de funcionamiento de una instalación geotérmica para uso residencial consta de tres partes fundamentales, las cuales se hayan representadas en la Figura 1.2:

- **El sistema de captación.** Es la parte de la instalación que extrae o disipa el calor del subsuelo con el fin de aprovecharlo para la climatización de un espacio y/o producción de agua caliente sanitaria (ACS). Se pueden distinguir dos tipos:

- a) **Sistemas de circuito abierto:** Mediante los cuales se recoge al agua caliente directamente de una fuente subterránea para que una vez intercambiado el calor con la vivienda sea devuelto al terreno.

Este tipo de sistema tiene un alto rendimiento, pero también tiene algunas desventajas, como la disponibilidad de yacimientos con un posible uso geotérmico, ya que no están presentes en todas las zonas, o el impacto medioambiental que pueden provocar en los acuíferos locales.

- b) **Sistemas de circuito cerrado:** Estos constan de una serie de tuberías por las que circula el fluido caloportador (agua con anticongelante), las cuales son calentadas con la temperatura constante que proporciona el terreno. Esta temperatura suele estar entre los 10°C y los 30°C, y se mantiene estable entre los 5 y los 15m de profundidad, como ya se explicó anteriormente.

Dependiendo de las condiciones del terreno se puede instalar un sistema de captación vertical (Figura 1.4), para el que se tendrán que realizar uno o más sondeos con

una profundidad comprendida entre 30 y 150 metros, o un sistema de captación horizontal (Figura 1.3), el cual está formado por un serpentín que se encuentra enterrado entre 1 y 2m de profundidad.

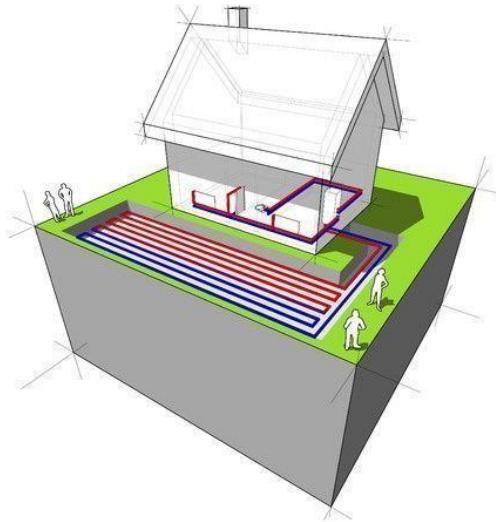


Figura 1.3 Sistema de captación horizontal. (Fuente: [1])

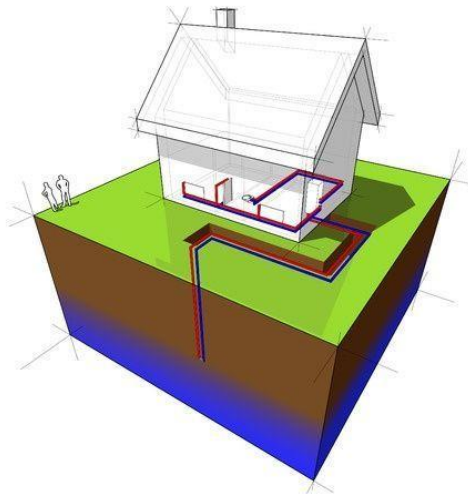


Figura 1.4 Sistema de captación vertical. (Fuente: [1])

En la práctica es más común decantarse por el sistema vertical ya que es más eficiente y se necesita menos superficie, solo se utiliza el horizontal cuando la perforación del terreno no es viable o se cuenta con una amplia extensión de terreno en las proximidades del edificio.

Otra variante son los pilotes geotérmicos (Figura 1.5), en los que se aprovecha en la cimentación del edificio los pilotes como medio portador de los intercambiadores geotérmicos. En estos casos, se requiere fijar a las armaduras de los pilotes los circuitos de sondas que harán la función de intercambiadores de energía con el subsuelo.

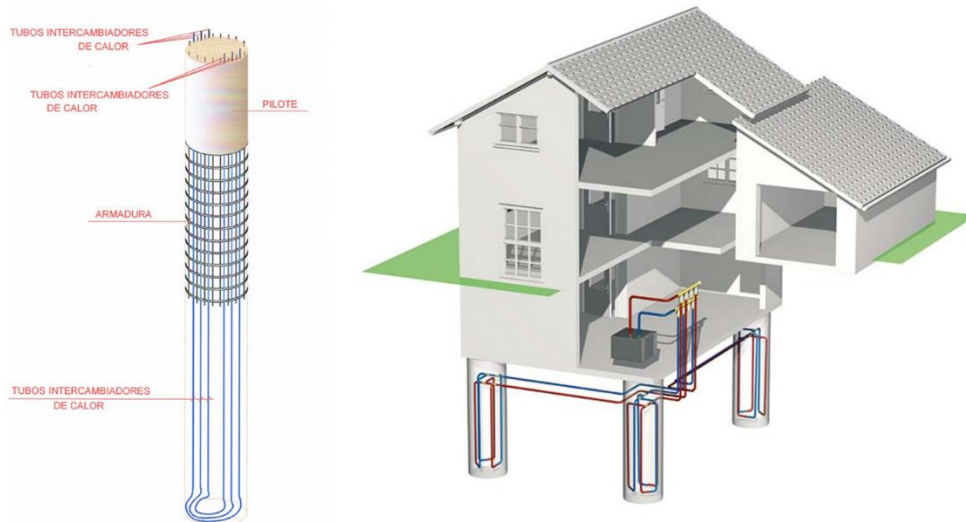


Figura 1.5 Pilote energético. (Fuente: [3])

- **Bomba de calor.** En el caso de un sistema de calefacción, la bomba se encarga de disipar el calor absorbido del terreno hacia el interior de la vivienda. Por el contrario, si se trata de un sistema de refrigeración, esta cede el calor sobrante de la vivienda a los tubos de captación. Es decir, absorbe calor de un foco frío y lo cede a un foco caliente.

Su funcionamiento se basa en el ciclo de refrigeración, por lo que sus componentes principales son un compresor, un condensador, una válvula de expansión y un evaporador. El fluido proveniente del sistema de captación calienta el refrigerante que circula por la bomba de calor dentro del evaporador. Una vez evaporado, el refrigerante pasa por el compresor elevando su presión y por tanto su temperatura. En el condensador se cede el calor generado al agua, que se puede almacenar para su uso como ACS o utilizarse para alimentar el sistema de emisión. Por último, el fluido frigorífico vuelve a la presión inicial mediante la válvula de expansión.

La reversibilidad de estos equipos gracias a la válvula de cuatro vías que llevan incorporada posibilita los dos modos de operación comentados, refrigeración y calefacción con el mismo sistema (Figura 1.6).

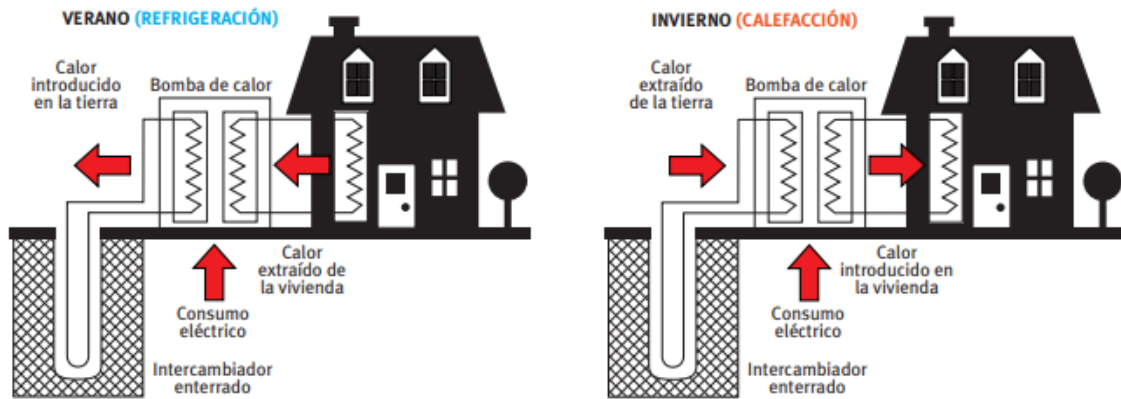


Figura 1.6 Modos de funcionamiento de una bomba de calor. (Fuente: [4])

- **Sistema de emisión.** Es la parte que se encarga de distribuir el calor dentro de la vivienda. Para ello, se pueden emplear radiadores, suelo radiante, como el que se muestra en la Figura 1.7, o climatizadores.



Figura 1.7 Suelo radiante. (Fuente: [5])

En el caso que aquí se presenta, se ha optado por un sistema geotérmico cerrado vertical, por su demostrada mayor eficiencia y adaptabilidad según las condiciones de la zona seleccionada. Toda instalación geotérmica somera debe tener en cuenta de partida dos parámetros fundamentales, la demanda de energía del edificio a climatizar y el

comportamiento térmico del subsuelo. Para el cálculo de la demanda existen diferentes procedimientos y aplicaciones que hacen relativamente sencillo su cálculo.

En cuanto al subsuelo, en estos sistemas es especialmente importante considerar el tipo de terreno predominante en la zona donde se desea implantar la instalación, en concreto su conductividad térmica, que determina la capacidad de los materiales para conducir el calor y, por tanto, condiciona de forma directa la efectividad del intercambio térmico en las perforaciones.

2. Descripción del caso de estudio

2.1.EMPLAZAMIENTO

La vivienda a la que corresponde el estudio que se desarrollará en este proyecto está situada en la calle Bélgica en la ciudad de Ávila (40.653532, -4.675097). Concretamente, en la parcela con referencia catastral 8518911UL5081N0000JA. En la Figura 2.1 se observa claramente su ubicación.

También es importante destacar que la puerta de entrada se encuentra orientada en dirección oeste.

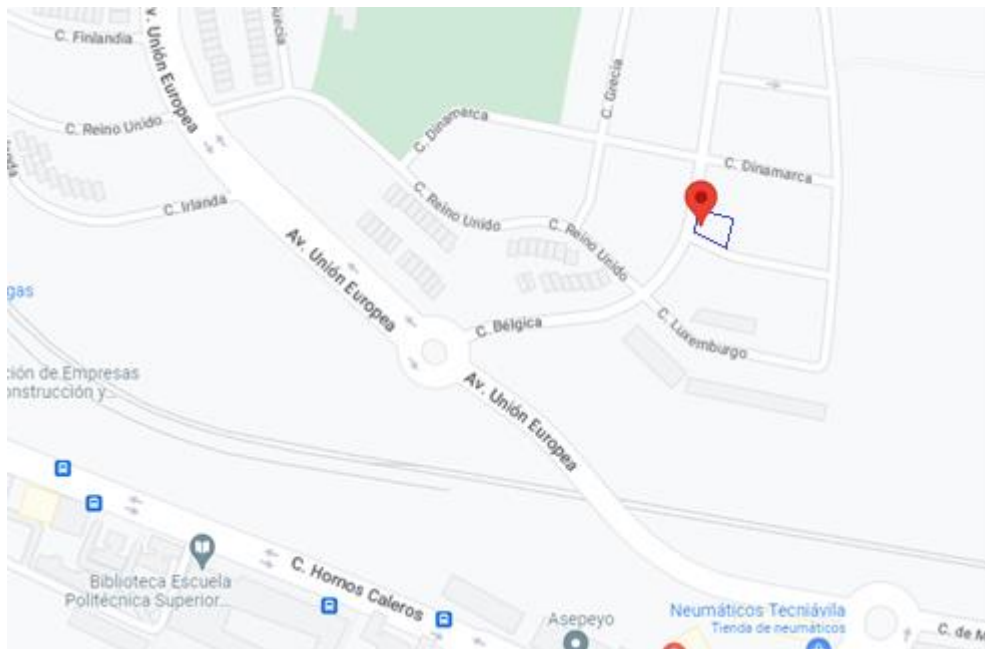


Figura 2.1 Ubicación de la vivienda. (Fuente: [6])

2.2. CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.2.1. CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS

En la Guía Técnica de Condiciones Climáticas Exteriores de Proyecto publicada en 2010 por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) se encuentra la Figura 2.2. En ella se reflejan distintos valores de temperatura recogidos en Ávila, como son la temperatura seca exterior mínima (-13,2°C), la temperatura seca exterior máxima

(37,4°C), la temperatura húmeda exterior máxima (19,0°C) y los valores medios mensuales a lo largo de un año.

Provincia	Estación		Indicativo				
Ávila	Ávila (Observatorio)		2444				
UBICACIÓN: ENTORNO CIUDAD			Nº DE OBSERVACIONES Y PERIODO				
a.s.n.m. (m)	Lat.	Long.	T seca	Hum. relativa	T terreno	Rad	
1130	40°39'00"	04°40'43"W	81.541	14.601	9.317		
CONDICIONES PROYECTO CALEFACCIÓN (TEMPERATURA SECA EXTERIOR MÍNIMA)							
TSMIN (°C)	TS _{99,6} (°C)	TS ₉₉ (°C)	OMDC (°C)	HUMcoin (%)	OMA (°C)		
-13,2	-6,4	-4,5	11,7	85,3	38,6		
CONDICIONES PROYECTO REFRIGERACIÓN (TEMPERATURA SECA EXTERIOR MÁXIMA)							
TSMAX (°C)	TS _{0,4} (°C)	THC _{0,4} (°C)	TS ₁ (°C)	THC ₁ (°C)	TS ₂ (°C)	THC ₂ (°C)	OMDR (°C)
37,4	32,2	18,4	30,8	18,0	29,4	17,7	16,8
CONDICIONES PROYECTO REFRIGERACIÓN (TEMPERATURA HÚMEDA EXTERIOR MÁXIMA)							
TH _{0,4} (°C)	TSC _{0,4} (°C)	TH ₁ (°C)	TSC ₁ (°C)	TH ₂ (°C)	TSC ₂ (°C)		
19,0	19,0	18,4	18,4	17,8	17,8		
VALORES MEDIOS MENSUALES							
Mes	TA (°C)	TASOL (°C)	GD ₁₅ (°C)	GD ₂₀	GDR ₂₀	RADH(kWh/m ² día)	TTERR (°C)
Enero	2,9	4,6	346	488	0		
Febrero	4,2	5,9	286	415	0		
Marzo	7,3	9,1	228	366	0		
Abril	8,8	10,9	176	304	1		
Mayo	13,3	15,1	104	222	13		
Junio	19,4	21,8	23	83	65		
Julio	21,3	23,8	10	50	93		
Agosto	21,0	23,3	10	54	83		
Septiembre	16,9	19,5	38	118	30		
Octubre	11,8	13,9	114	240	3		
Noviembre	5,9	7,7	252	389	0		
Diciembre	3,6	5,3	326	468	0		

Rosa de los vientos: velocidad media 2,65 m/s

Figura 2.2 Condiciones climatológicas de proyecto en Ávila. (Fuente: [7])

En el archivo de datos de AEMET se encuentran los valores de temperaturas que se registraron en 2022. En la Figura 2.3 se representan las temperaturas máximas y mínimas diarias recogidas por la estación meteorológica de Ávila. Mientras que en la Figura 2.4 se hallan otros datos relevantes como la temperatura máxima, la cual coincide aproximadamente con los datos del IDAE, y la temperatura mínima, que es de -5,5°C.

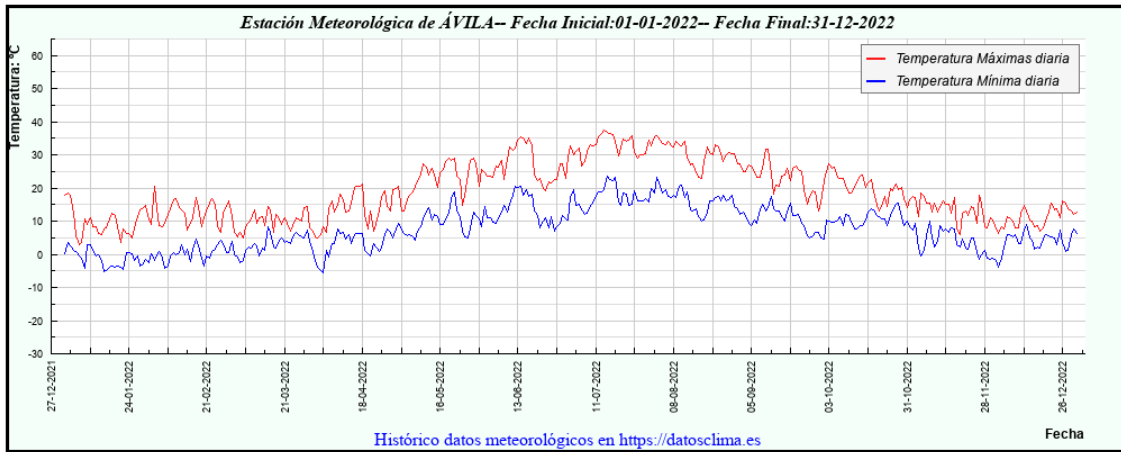


Figura 2.3 Gráfica y datos de temperatura recogidos por la estación meteorológica de Ávila en 2022. (Fuente: [8])

CARACTERISTICA / VALOR	(Temperatura °C)	FECHA
Temperatura Máxima más alta Registrada:	37.6	14-07-2022
Temperatura Máxima más baja Registrada:	3.0	06-01-2022
Temperatura Mínima más alta Registrada:	23.6	15-07-2022
Temperatura Mínima más baja Registrada:	-5.5	04-04-2022
Mayor diferencia de temperaturas en un mismo día (Tmax-Tmin):	22.3	02-02-2022
Mayor ascenso de temperaturas Máximas en 24 h:	11.5	entre 01-02-2022 y 02-02-2022
Mayor ascenso de temperaturas Mínimas en 24 h:	7.2	entre 14-03-2022 y 15-03-2022
Mayor descenso de Temperaturas máximas en 24h:	9.7	entre 17-11-2022 y 18-11-2022
Mayor descenso de Temperaturas mínimas en 24 h:	7.6	entre 03-11-2022 y 04-11-2022

Figura 2.4 Resumen de Valores de Temperatura máxima y mínima a lo largo de 2022. (Fuente: [8])

Todos estos valores climatológicos son fundamentales para el correspondiente cálculo de la demanda energética del edificio aquí considerado y del posterior dimensionamiento de la instalación geotérmica vertical.

2.2.2. INFORMACIÓN GEOLÓGICA

Como se ha indicado anteriormente, un sistema geotérmico somero está condicionado por la naturaleza de los materiales presentes en el subsuelo. Por ello, se debe considerar en primera instancia la geología del emplazamiento objeto de este trabajo.

La zona en la que se realiza el estudio se corresponde con la hoja 531 del Mapa Geológico Nacional realizado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME). En ella se encuentran una serie de mapas, como el de la Figura 2.5, en los que se puede observar que la vivienda, señalada con una chincheta amarilla, se encuentra en una zona

predominantemente granítica, con ciertos niveles de coluviones (depósitos de limo, arena y grava) en superficie y granito adamellítico de grano medio en profundidad . La leyenda viene definida en la Figura 2.6.

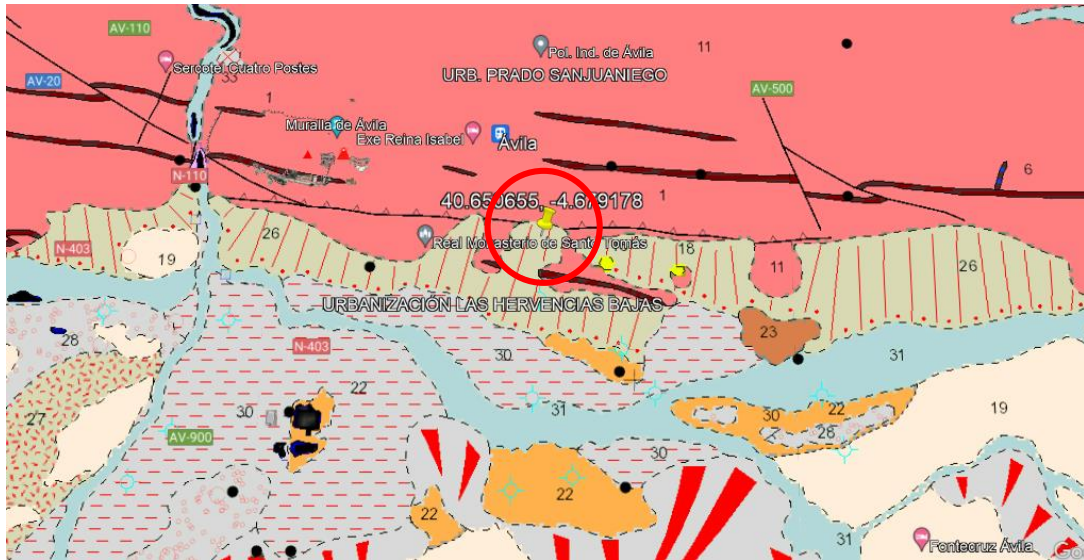


Figura 2.5 Mapa geológico correspondiente a la zona de estudio. (Fuente: [9])

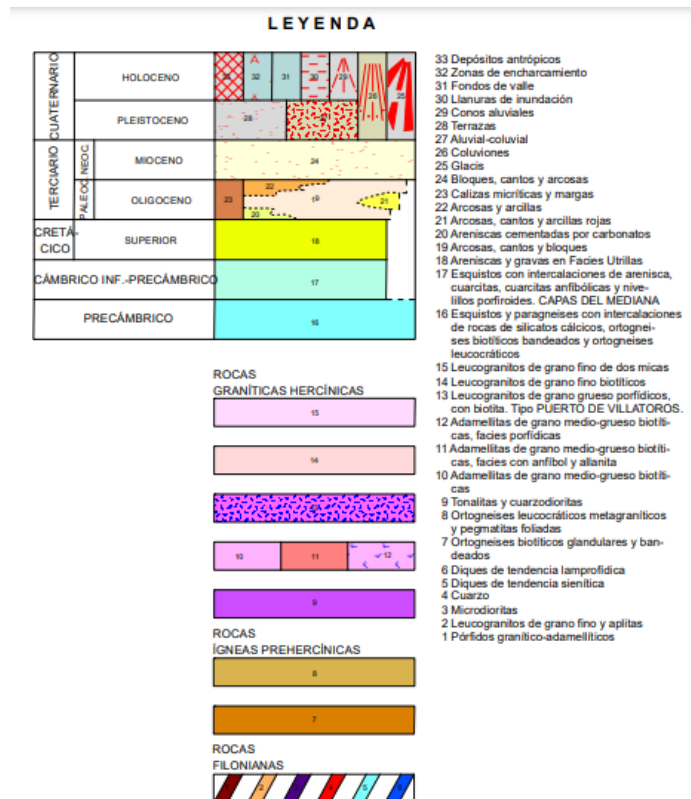


Figura 2.6 Leyenda del mapa geológico correspondiente a la zona de estudio. (Fuente: [9])

2.3. EDIFICACIÓN

Se trata de una edificación de uso residencial de dos plantas. La planta baja cuenta con una superficie de 82,22 m², que también corresponde con la superficie en contacto con el terreno, mientras que el área que ocupa la segunda planta es de 90,22 m². Cada planta tiene una altura de 2,7m.

La cubierta está formada por un tejado a dos aguas con una altura de 1,5 m y una superficie total de 96,36m².

A continuación, se muestran los planos de la vivienda en la Figura 2.7 y en la Tabla 2.1 se refleja la superficie de sus distintas dependencias.

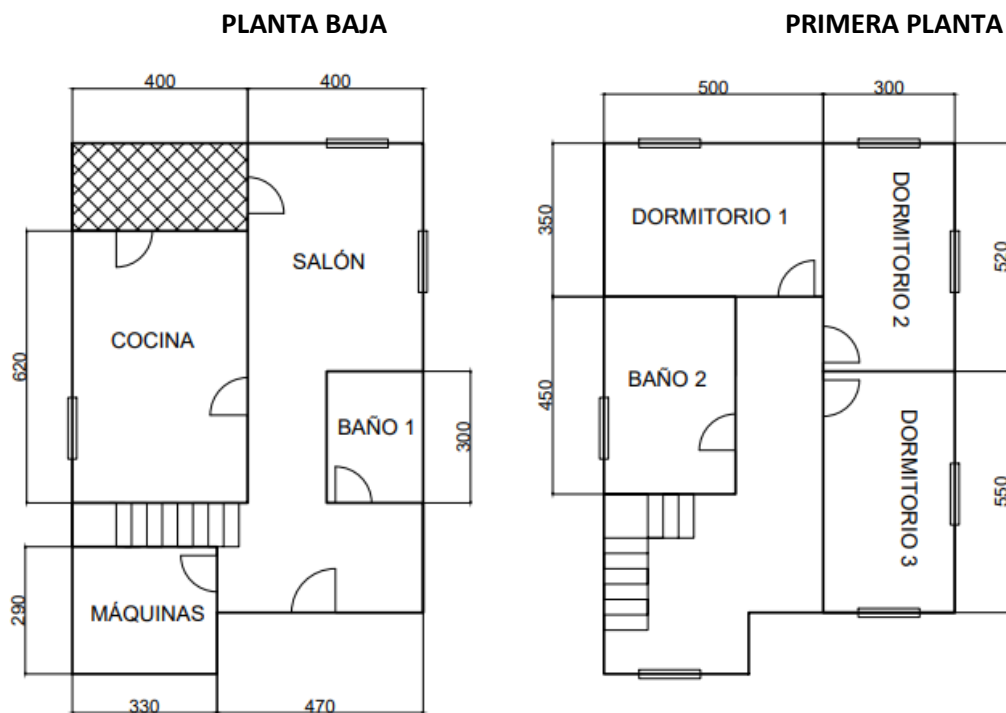


Figura 2.7 Planos de la vivienda.

Planta baja	Superficie
Salón - entrada	41,25 m ²
Cocina	24,8 m ²
Baño 1	6,6 m ²
Sala de máquinas	9,57 m ²
Primera planta	
Dormitorio 1	17,5 m ²
Dormitorio 2	15,6 m ²
Dormitorio 3	16,5 m ²

Baño 2	13,5 m ²
Pasillo	25,89 m ²

Tabla 2.1 Superficie de la vivienda por zonas.

En la vivienda hay un total de 13 huecos distribuidos en las distintas estancias. Se distinguen tres tipos: las ventanas, que son de las mismas medidas en todas las habitaciones (1,68 m²), vienen representadas en la Figura 2.8, las puertas de salida al porche (1,73 m²), que corresponden al apartado b) de la Figura 2.5 y la puerta de entrada (2,1 m²) que también se muestra en la Figura 2.9. A su vez, el número de ventanas con las que cuenta cada estancia de la vivienda se muestra en la Figura 2.7.

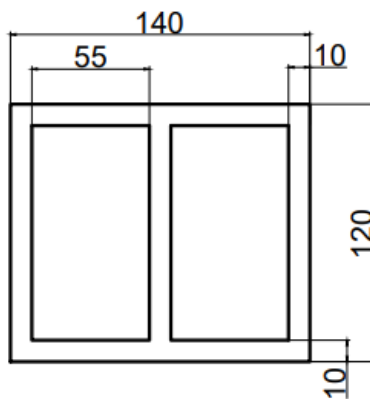


Figura 2.8 Dimensiones en (mm) de las ventanas presentes en la vivienda.

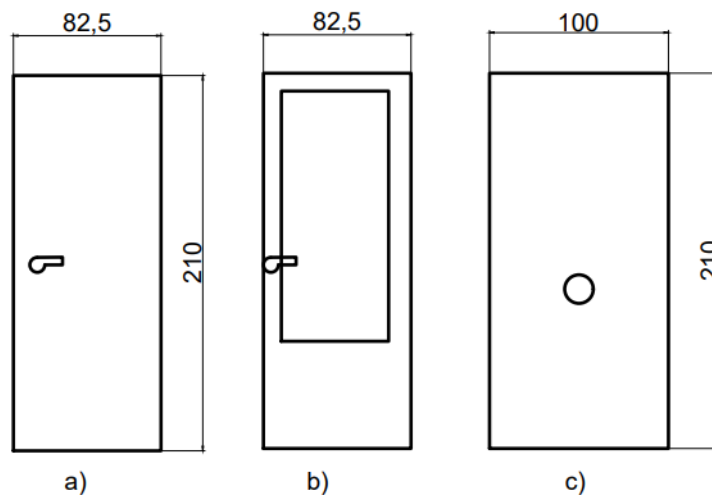


Figura 2.9 Dimensiones (en mm) de: a) Puertas interiores. b) Puertas del porche. c) Puerta de entrada.

3. Prospecciones y ensayos

3.1. CARACTERIZACIÓN TÉRMICA DEL TERRENO

Partiendo de la información geológica de la zona, y con objeto de obtener una caracterización más precisa del subsuelo, se han realizado campañas de prospección geofísica en la zona donde se sitúa la vivienda. Para ello, se emplearon las técnicas de MASW y sísmica de refracción que se describen a continuación.

La técnica MASW (Multi-Channel Analysis of Surface Waves) es un método geofísico que consiste en el análisis de las propiedades de dispersión de ondas sísmicas superficiales generadas mediante fuentes vibratorias, como un martillo neumático o un generador de ondas sísmicas. Estas ondas son registradas en distintos puntos por sensores (geófonos) que transforman las vibraciones en señales eléctricas. De esta forma, se puede conseguir una representación gráfica de cómo la velocidad de las ondas sísmicas varía respecto a la profundidad.

Por otro lado, la refracción sísmica se basa en el cambio de dirección de las ondas al atravesar las capas geológicas. Este cambio es debido a la diferencia entre las velocidades de propagación, que depende de las propiedades elásticas de los distintos materiales. Este método utiliza los primeros tiempos de llegada registrados en el sismógrafo, que corresponden con las ondas refractadas en cada una de las capas.

Todos los datos de velocidad fueron recogidos por el sismógrafo que se observa en la Figura 3.1 gracias a un sistema de 12 geófonos colocados cada 5 m en la zona de estudio (Figura 3.2).

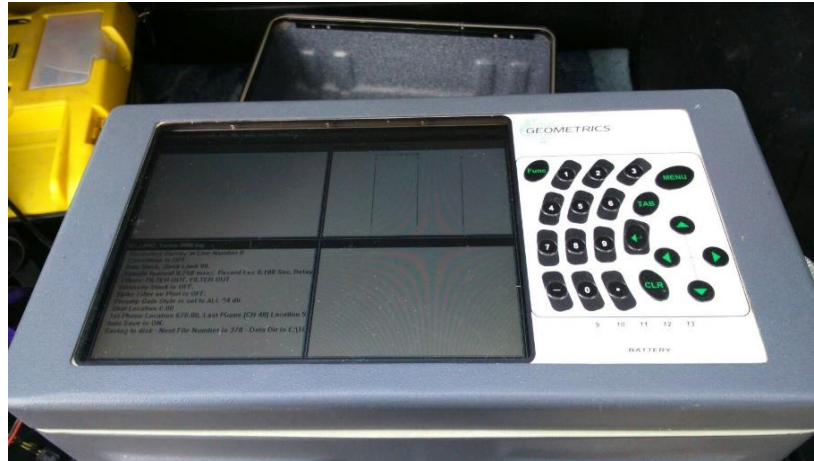


Figura 3.1 Sismógrafo Stratavisor Nx perteneciente a “Geometrics”.



Figura 3.2 Distribución de los geófonos en la zona de estudio.



Figura 3.3 Cableado para los geófonos.

Una vez obtenidas las velocidades de propagación de las ondas sísmicas y en base a investigaciones previas, se procedió a correlacionar estos valores con la conductividad térmica de los materiales de la zona, ya que la forma en la que se transmiten las ondas es muy similar a cómo se transmite el calor por conducción, lo que permite establecer una relación entre ambas.

En este caso se correlaciona la conductividad térmica de los materiales más compactos y los más disgregados de la zona con los valores máximos y mínimos de velocidades de onda. Para ello, se determinaron los valores máximos de conductividad térmica correspondientes al estado de menor degradación de las formaciones y los valores mínimos para el mayor grado de degradación mediante el uso del medidor de conductividad térmica KD2-PRO (Figura 3.4).



Figura 3.4 Medidor de propiedades térmicas KD2-PRO. (Fuente: [10])

Una vez medidos los valores de conductividad térmica, se asociaron a los valores más altos y bajos de velocidad respectivamente. Dichas correlaciones quedan reflejadas en la siguiente Tabla 3.1.

Profundidad (m)	Velocidad de onda S (m/s)	Velocidad de onda P (m/s)	Conductividad térmica (W/mK)
0,0	989,3	1465,0	1,04
0,8	1046,1	1850,0	1,20
1,8	1269,2	2141,0	1,36
3,0	1554,2	2680,0	1,52
4,2	1770,1	3254,8	1,68
5,7	1925,6	3427,5	1,84
7,3	1894,9	3393,3	2,01
9,0	1784,8	3271,1	2,17
10,9	1866,2	3361,5	2,33
13,0	1947,0	3451,2	2,49
15,1	1925,5	3427,3	2,65
17,5	2055,2	3571,3	2,81
25,0	2216,7	3834,9	2,98

Tabla 3.1 Valores de conductividad térmica y velocidades de onda en la zona de estudio. (Fuente: [11])

Obteniendo finalmente una gráfica de la distribución de conductividades térmicas en profundidad en la que se reflejan los resultados obtenidos mediante el estudio del terreno (Figura 3.5).

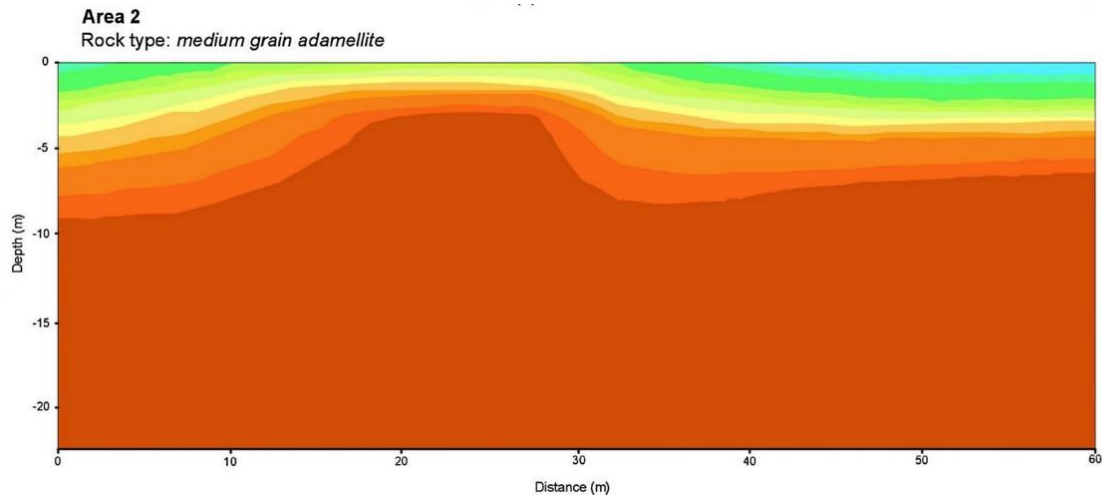


Figura 3.5 Distribución de conductividades térmicas en profundidad. (Fuente: [11])

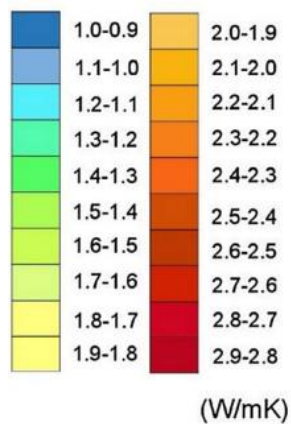


Figura 3.6 Leyenda Figura 3.5. (Fuente: [11])

Analizando la Figura 3.5, que corresponde a la conductividad térmica de las distintas capas de la zona en la que se encuentra la vivienda, se puede determinar, observando la leyenda (Figura 3.6), que el valor que se tendrá en cuenta en este estudio de instalación geotérmica de muy baja entalpía es de 2,2 W/mK.

Es importante realizar este tipo de estudios debido a que los datos de conductividad térmica que recoge la normativa son escasos y poco precisos.

4. Cálculos

4.1. DEMANDA ENERGÉTICA

Para calcular la demanda térmica total anual de la vivienda a la que corresponde este estudio se va a utilizar, en primer lugar, uno de los programas que pone a nuestra disposición el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico: el CE3X, que son las siglas de Certificación Energética de Edificios Existentes. Con esta herramienta se puede obtener la calificación energética del edificio. Para clasificarlo se emplea una escala de la A a la G, siendo la A el indicador más eficiente y la G la menos eficiente, y la cual depende de las emisiones anuales de CO₂ por superficie útil. Además, el programa nos ofrece datos sobre la demanda de calefacción y refrigeración y sus respectivas emisiones.

Posteriormente se empleará una hoja de cálculo Excel basado en la normativa UNE-EN ISO 13790:2011. De este modo es posible comparar los resultados obtenidos por los distintos métodos de acuerdo con los parámetros solicitados y el procedimiento de cálculo en el que se basa cada uno de ellos.

CE3X

En primer lugar, el CE3X solicita una serie de “**datos administrativos**” (Figura 4.1) relacionados con la localización del edificio, los datos del cliente y los datos del técnico certificador.

Datos administrativos Datos generales Envoltente térmica Instalaciones Calificación Energética Calificación Energética

Localización e identificación del edificio

Nombre del edificio: EDIFICIO CON INSTALACION GEOTERMICA
 Dirección: C.BELGICA
 Provincia/Ciudad autónoma: Ávila Localidad: Ávila Código Postal: 05004
 Referencia Catastral: 8518911UL5081N0000JA +

Datos del cliente

Nombre o razón social: INSTALACION GEOTERMICA
 Dirección: C.BELGICA
 Provincia/Ciudad autónoma: Ávila Localidad: AVILA Código Postal: 05004
 Teléfono: 816054002 E-mail: .

Datos del técnico certificador

Nombre y Apellidos: ALBA RODRIGUEZ PEREZ NIF: 71715225Y
 Razón social: TFG CIF: 4643210013
 Dirección: Cjón. Campus Vegazana
 Provincia/Ciudad autónoma: León Localidad: LEON Código Postal: 24007
 Teléfono: 665701849 E-mail: ARODRP17@ESTUDIANTES.UNILEON.ES
 Titulación habilitante según normativa vigente: INGENIERA TECNICA INDUSTRIAL

Figura 4.1 Pestaña de datos administrativos de CE3X. (Fuente: [12])

En la siguiente pestaña, “datos generales” (Figura 4.2), se introduce que el edificio fue construido en 2018 por lo que se ajusta a las especificaciones de la normativa del Código Técnico de la Edificación (CTE) de 2013, que estuvo vigente hasta 2021. Esto es importante puesto que el CTE 20013 introdujo requisitos más estrictos para promover edificios más ecológicos y reducir el consumo de energía respecto a la normativa anterior.

Datos generales

Normativa vigente: CTE 2013 Año construcción: 2018
 Tipo de edificio: Unifamiliar
 Provincia/Ciudad autónoma: Ávila Localidad: Ávila Zona climática: HE-1 IV

Definición edificio

Superficie útil habitable: 172.44 m2
 Altura libre de planta: 2.7 m
 Número de plantas habitables: 2
 Ventilación del inmueble: 0.63 ren/h
 Demanda diaria de ACS: 112 l/día
 Masa de las particiones internas: Media




Figura 4.2 Pestaña de datos generales de CE3X. (Fuente: [12])

Las necesidades de demanda energética de una vivienda también dependen de la zona climática en la que se encuentra el edificio. Para determinarla se utiliza la Tabla a-ANEJO B del DB-HE-2 del CTE (Figura 4.3) que está organizada según la provincia y la altitud sobre el nivel del mar. En nuestro caso, la vivienda se ubica en la ciudad de Ávila, la cual se encuentra a una altitud sobre el nivel del mar superior a los 1100m, lo que corresponde a una zona E1.

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 - 1250 m	1251 - 300 m
Albacete	C3									D3						E1								
Alicante/Alacant	B4			C3						D3														
Almería	A4		B4		B3		C3				D3													
Araba/Álava	D1									E1														
Asturias	C1		D1						E1															
Ávila	D2									D1			E1											
Badajoz	C4						C3		D3															

Figura 4.3 Sección de la Tabla a-ANEJO B del DB-HE-2 del CTE. (Fuente: [13])

Para la definición del edificio se ha calculado la superficie útil habitable sumando el área de las dependencias indicadas en la Tabla 2.1 del apartado 2.3 obteniendo un total de 172,44 m².

En el cálculo del consumo total diario de agua caliente sanitaria (ACS) se ha tenido en cuenta el apartado 1 del DB-HE-4 Anejo F-Demanda de referencia de ACS, en el que se indica que: “La demanda de referencia de ACS para edificios de uso residencial privado se obtendrá considerando unas necesidades de 28 litros/día·persona (a 60°C)”. Este apartado del CTE también nos ofrece una tabla (Figura 4.4) con los valores mínimos de ocupación de cálculo en uso residencial privado, por lo que teniendo en cuenta que nuestra vivienda consta de tres dormitorios, lo que corresponde a una ocupación de 4 personas, el valor final que se debe introducir en el programa es de 112 l/día.

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	≥6
Número de Personas	1,5	3	4	5	6	6	7

Figura 4.4 Tabla a-Anejo F. Valores mínimos de ocupación de cálculo en uso residencial privado. (Fuente: [13])

Una vez dentro de la pestaña “**Envolvente térmica**” se debe calcular la superficie de la fachada teniendo en cuenta su orientación. Dicha superficie incluye el área de los huecos. Por lo que, conociendo la altura de cada planta y la distancia de cada lateral del edificio se alcanzan los resultados expuestos en la Tabla 4.1.

		Orientación	Superficie (m2)
Cubierta			-
Muro	En contacto con el terreno		-
	De fachada	Norte	65,34
		Sur	65,34
		Este	43,2
		Oeste	45,3
Medianería		-	
Suelo	En contacto con el terreno		82,22
	En contacto con el exterior		8
Partición interior	Vertical		-
	Horizontal en contacto con espacio NH superior		90,22
	Horizontal en contacto con espacio NH inferior		-
Hueco / Lucernario	Lucernario/Ventana	Norte	2x1,68
		Sur	3x1,68
		Este	3x1,68
		Oeste	2x1,68
	Puerta entrada	Oeste	1x2,1
	Puerta porche	Norte	1x1,73
		Este	1x1,73

Tabla 4.1 Superficie de los cerramientos según su orientación.

De igual modo es importante determinar las propiedades térmicas de cada cerramiento. Con este propósito, el programa nos proporciona tres formas de precisarlas: por defecto, estimadas o mediante una librería de cerramientos basada en el catálogo de elementos constructivos aprobado por el CTE. Una vez definido el cerramiento se obtiene la suma total de la resistencia térmica.

La resistencia térmica de un material es una medida de la oposición que presenta un material al flujo de calor. Cuanto mayor sea esta, menor será la cantidad de calor que pueda pasar a través del material en un intervalo de tiempo, lo que indica una mejor capacidad de aislamiento térmico. Se representa con la letra “R” y su unidad de medida suele ser metros cuadrados por Kelvin partido de vatios (m^2K/W).

Por otro lado, la transmitancia térmica (U), que se puede calcular como la inversa de la resistencia ($U=1/R$), es la pérdida o ganancia de calor que se transmite a través de una superficie que separa dos espacios a distintas temperaturas. Cuanto menor sea su valor más eficiente será en la conservación de la temperatura de un espacio determinado. Esta será la medida empleada para evaluar la eficiencia energética de edificio del estudio.

Los parámetros característicos de los muros de fachada se han estimado especificando un tipo de fachada de doble hoja con cámara de aire ligeramente ventilada y aislamiento térmico de poliestireno expandido de 5 cm de espesor, como se puede observar en la Figura 4.5. De esta forma se obtiene una transmitancia de $0,63 \text{ W/m}^2\text{K}$.

The image shows a software interface for defining facade parameters. It is divided into two main sections: 'Parámetros característicos del cerramiento' and 'Características del aislamiento térmico'.
 In the first section, 'Propiedades térmicas' is set to 'Estimadas', resulting in a 'Transmitancia térmica' of 0.63 W/m²K. 'Tipo de fachada' is 'Doble hoja con cámara' and 'Cámara de aire' is 'Ligeramente ventilada'. A checkbox 'Tiene aislamiento térmico' is checked.
 In the second section, 'Tipo de aislamiento' is 'EPS' with an 'Espesor' of 0.05 m. There is also an option for 'Ra' with a unit of m²K/W.

Figura 4.5 Parámetros característicos del cerramiento de fachada. (Fuente: [12])

Una vez añadidos todos los muros de fachada se debe definir el suelo. Para el suelo en contacto con el terreno también se han estimado las propiedades térmicas, además cuenta con un aislamiento térmico continuo, por lo que resulta una transmitancia térmica de $0,72 \text{ W/m}^2\text{K}$. Por otro lado, para el suelo en contacto con el aire exterior que se encuentra sobre el porche se ha definido un forjado unidireccional con piezas de entrevigado de hormigón, como se muestra en la Figura 4.6, alcanzando una resistencia térmica de $0,46 \text{ W/m}^2\text{K}$. En este caso el espesor del aislante es mayor que en la fachada ya que a través del suelo es común que exista una mayor transferencia de calor.

Parámetros característicos del cerramiento

Propiedades térmicas Estimadas Transmitancia térmica 0.46 W/m²K

Tipo de forjado Unidireccional

Piezas de entrevigado De Hormigón

Tiene aislamiento térmico

Características del aislamiento térmico

Tipo de aislamiento EPS Espesor 0.08 m

Ra m²K/W

Figura 4.6 Parámetros característicos del suelo en contacto con el aire. (Fuente: [12])

Para la partición horizontal en contacto con espacio NH superior se tendrá en cuenta tanto la superficie del cerramiento interior horizontal que separa el espacio habitable con el espacio no habitable superior como la de la cubierta (96,36 m²) y ambos cuentan con aislante térmico.

En el apartado “Hueco/Lucernario” (Figura 4.7) hay que añadir a cada fachada el número de huecos y sus dimensiones. También se debe precisar el tipo de vidrio y el material del marco. Para las ventanas se ha instalado un vidrio doble bajo emisivo en posición vertical con cámara de aire 4/12/4, con marco de aluminio con rotura de puente térmico y una superficie de 1,68 m². Las puertas del porche tienen el mismo tipo de vidrio y de marco, pero varía el área que en este caso es de 1,73 m². Las transmitancias térmicas de estos dos materiales son: $U_{\text{vidrio}} = 2 \text{ W/m}^2\text{K}$ y $U_{\text{marco}} = 3,2 \text{ m}^2$.

Hueco/Lucernario

Nombre VENTANAS N

Cerramiento asociado FACHADA NORTE Orientación Norte

Dimensiones

Longitud m

Altura m

Multiplicador 2

Superficie 1.68 m²

Porcentaje de marco 30 %

Características

Permeabilidad del hueco Estanco 50 m³/hm²

Absortividad del marco 0.7

Dispositivo de protección solar Dispositivo de protección solar

Patrón de sombras Sin patrón

Doble ventana

Parámetros característicos del hueco

Propiedades térmicas Conocidas

U vidrio 2 W/m²K Vidrio seleccionado VENTANA

g vidrio 0.63 Marco seleccionado VER_Con rotura de puente térmico may

U marco 3.2 W/m²K

Figura 4.7 Parámetros de huecos/lucernarios. (Fuente: [12])

Por último, dentro de esta pestaña, se han añadido los puentes térmicos que se pueden encontrar en la vivienda (Figura 4.8). Un puente térmico es una zona de la envolvente del edificio en la que hay mayor transferencia de calor debida a una interrupción en el aislante térmico. Es importante tenerlos en cuenta ya que pueden resultar en pérdidas de energía y por lo tanto en un aumento en la demanda de calefacción.

Puente térmico por defecto

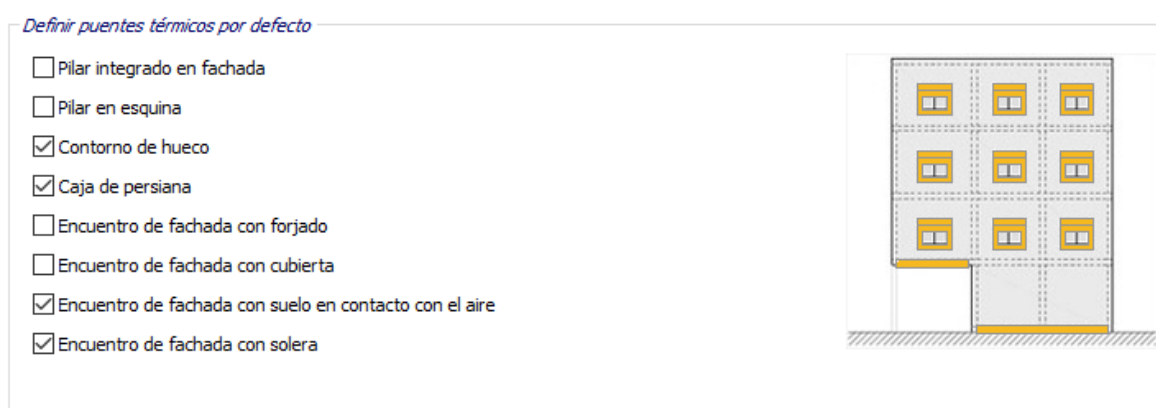


Figura 4.8 Puentes térmicos. (Fuente: [12])

En el contexto que se está analizando no se han tenido en cuenta los puentes térmicos debidos a los pilares integrados en fachada ni al encuentro de fachada con forjado ya que no atraviesan la fachada, es decir, no están en contacto con el aire exterior. Tampoco se ha tenido en cuenta el contorno de hueco ya que el marco tiene rotura de puente térmico. Por el contrario, se han considerado la caja de persiana y los encuentros de fachada con cubierta, con el suelo en contacto con el aire y con solera, puesto que hay un cambio en el material aislante.

Finalmente, en la pestaña **“Instalaciones”** (Figura 4.9) se ha incluido el equipo mixto de calefacción y ACS. El tipo de generador que se ha incluido es la bomba de calor que se emplea en la instalación geotérmica con un rendimiento nominal del 450%. Mientras que el ACS cubre una demanda del 100% de la superficie de la vivienda, el porcentaje de calefacción es del 88,15%, ya que la sala de máquinas y parte del pasillo no cuentan con sistemas de emisión.

Equipo mixto de calefacción y ACS

Nombre	Calefacción y ACS		Zona	Edificio Objeto	
Características			Demanda cubierta		
Tipo de generador	Bomba de Calor		ACS	Calefacción	
Tipo de combustible	Electricidad		Superficie (m2)	172.44	152.01
			Porcentaje (%)	100	88.15
Rendimiento medio estacional					
Rendimiento estacional	Estimado según Instalación				
Antigüedad del equipo	Posterior a 2013				
Rendimiento nominal	450	%	A.C.S	Rendimiento medio estacional	473.6 %
			Calefacción	Rendimiento medio estacional	246.6 %
<input checked="" type="checkbox"/> Con Acumulación					
Valor UA	Por defecto		UA	5.0	W/K
Volumen de un depósito	180	l	Multiplicador	1	
			Tª alta	80	°C
			Tª baja	60	°C

Figura 4.9 Parámetros del equipo mixto de calefacción y ACS. (Fuente: [12])

Se conoce que la demanda diaria de ACS es de 112 L, por lo que, teniendo en cuenta las medidas con las que cuentan los fabricantes de depósitos, será suficiente con un modelo de 180L, que es una de las dimensiones más empleadas.

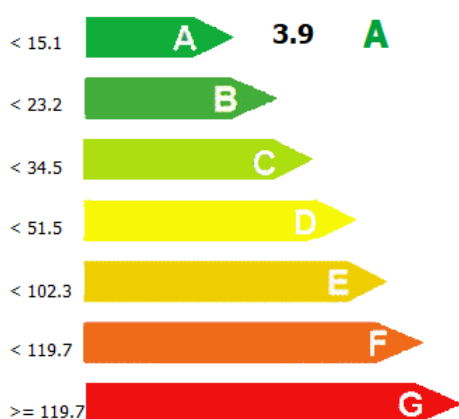
Una vez que todos los campos han sido completados, es posible verificar en la Figura 4.10, que se ha alcanzado una calificación energética del edificio con una clasificación A. Esto es debido a que el porcentaje de demanda de ACS y de calefacción es prácticamente cubierto por fuentes de energía renovable.

El Real Decreto 390/2021, de 1 de junio [14], por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios establece que en el Certificado de Eficiencia Energética del edificio se deben incluir recomendaciones de posibles mejoras de la eficiencia energética, por lo que el CE3X incluye un listado de medidas de mejora que se podrían incluir, además de la certificación que obtendría el edificio en caso de que se llevaran a cabo dichas propuestas. Algunas de las que se han propuesto para su posible aplicación en la reducción de la demanda de calefacción son:

- La sustitución o mejora de las ventanas.
- Adición de aislamiento térmico en fachada por el interior o relleno de cámara de aire.
- Adición de aislamiento en cajas de persiana.

Calificación energética de edificios

Indicador kgCO₂/m²



Edificio objeto

Demanda de calefacción (kWh/m ²)	102.4 D
Demanda de refrigeración (kWh/m ²)	No calificable
Emisiones de calefacción (kg CO ₂ /m ²)	3.9 A
Emisiones de refrigeración (kg CO ₂ /m ²)	No calificable
Emisiones de ACS (kg CO ₂ /m ²)	0.0 A

Figura 4.10 Calificación energética. (Fuente: [12])

Al generar el informe del proyecto se crea un documento en el que se exponen de forma detallada todos los resultados obtenidos. Entre los más destacados se encuentran el consumo global de energía primaria no renovable, que corresponde con un valor de 21,8 kWh/m² año y la demanda de calefacción, que es de 102,4 kWh/m² año. Al tratarse de una vivienda de 172,44 m² el valor final de dicha demanda quedaría en 17658 KWh/año.

Cabe mencionar que se trata de valores aproximados, ya que algunos de los parámetros se han sido establecidos por defecto y no se han tenido en cuenta el rendimiento real de la bomba de calor, que se seleccionará a continuación en base a los resultados obtenidos.

EXCEL

El método que se va a emplear a continuación para el cálculo de la demanda energética anual supone la aplicación de una hoja de cálculo Excel basado en el método mensual prEN 1379 de la norma UNE, con el que se puede obtener la necesidad de calefacción correspondiente a cada mes del año. Para el uso de esta herramienta se deben introducir los mismos datos de superficie de los cerramientos que en el caso anterior, teniendo en cuenta los valores de transmitancia obtenidos para cada uno de ellos. Todos estos datos están reflejados en la Tabla 4.2.

Cerramiento	Superficie	%Ventanas	Uopac	Uvent
Fachada sur	65,34	7,71	0,63	2,4
Fachada este	43,2	15,67	0,63	2,4
Fachada norte	65,34	7,79	0,63	2,4
Fachada oeste	64,3	12,05	0,63	2,4
Cubierta	90,22	-	0,47	-
Suelo	82,22	-	0,72	-

Tabla 4.2 Superficie, %Ventana y transmitancia térmica de los distintos cerramientos.

Una vez completados todos los campos, que se pueden observar en el Anexo 1.2, se obtiene un resultado final de 18287 kWh/año, este valor queda reflejado en la Figura 4.11.

ENERGIA FINAL	ESTIMACION EMISIONES CO2	
Calefacción kWh/año 18287	CALEFACCION	11.868 Kg/Año
Refrigeración kWh/año 0	REFRIGERACION	0 Kg/Año
TOTAL kWh/año 18287	TOTAL	11.868 Kg/Año

Figura 4.11 Valor de demanda de calefacción anual obtenido mediante Excel.

Al comparar ambos resultados se puede comprobar que el que se ha obtenido mediante CE3X (17658 kWh/año) es inferior al obtenido mediante la hoja de cálculo, por lo que la demanda de 18287 kWh/año implicaría un mayor consumo energético. Esto es debido a la precisión y el método de cálculo con los que cuenta cada uno de los procedimientos. El Excel, por ejemplo, no tiene en cuenta si las contribuciones energéticas provienen de fuentes de energía renovables, por lo que se obtiene una estimación de emisiones de CO₂ mucho mayor (Figura 4.11).

El programa CE3X nos permite incluir una mayor cantidad de datos para definir tanto la envolvente térmica como las instalaciones de las que dispone el edificio, por lo que se considera que tiene una mayor precisión.

Además, el Excel también proporciona una gráfica que representa el consumo de calefacción que se estima para cada mes del año junto con las distintas cargas térmicas que se han tenido en cuenta para calcularlo. Dichas cargas son las debidas a la transmitancia

térmica de los cerramientos, a la ventilación, a las ganancias solares y a las ganancias interiores. La suma de todas ellas corresponde a cada uno de los resultados totales que se muestran en la Figura 4.12.

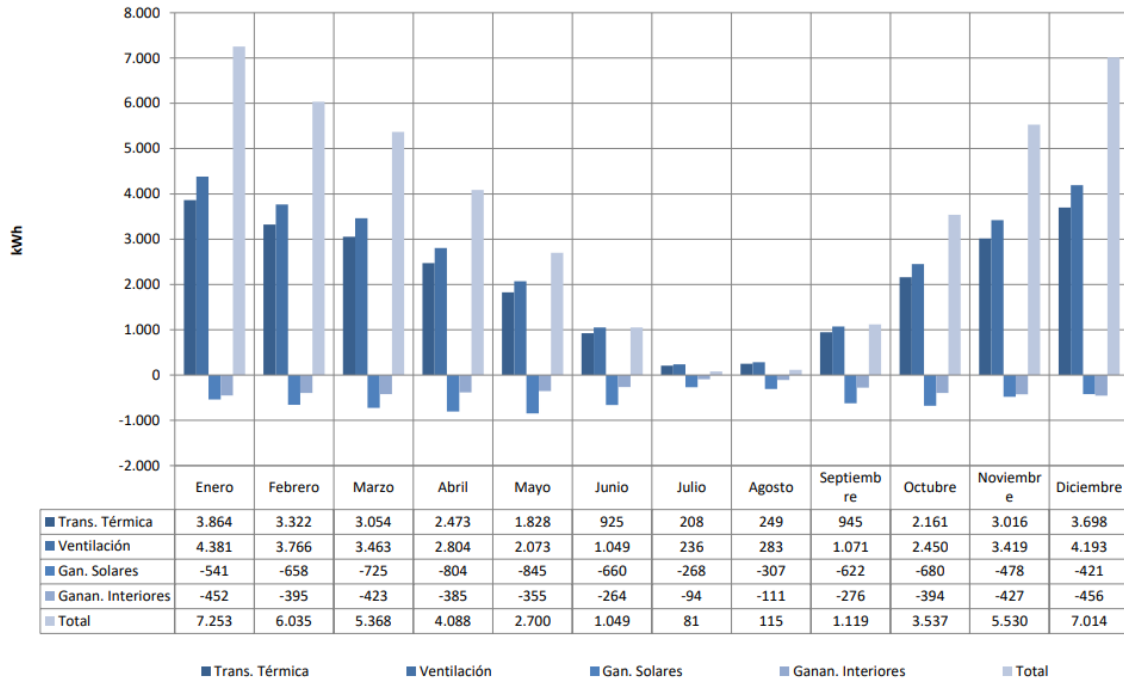


Figura 4.12 Gráfica de demanda de calefacción mensual obtenido mediante Excel.

4.2. DISEÑO DEL SISTEMA GEOTÉRMICO

4.2.1. PROCEDIMIENTO SIMPLIFICADO

Se empleará un procedimiento simplificado para realizar el diseño de la instalación geotérmica de forma menos compleja, pero sin pasar por alto los aspectos fundamentales del proceso.

En primer lugar, se escogerá una bomba de calor geotérmica teniendo en cuenta las condiciones climatológicas más desfavorables. En segundo lugar, se empleará el método recomendado por el IDAE para la selección del campo de captación. Y, por último, se dimensionará el sistema de emisión para cada una de las estancias climatizadas de la vivienda.

4.2.1.1. BOMBA DE CALOR

El edificio requiere una bomba de calor geotérmica simple con acumulador de ACS. Para su elección se tendrá en cuenta la carga térmica que se debe satisfacer durante los periodos con las mínimas temperaturas para mantener en el interior de la vivienda una temperatura de 21°C. En este caso en cuestión se considerará la temperatura exterior mínima recogida a lo largo del último año, que como se indica en el apartado 2.2.1 es de -5,5°C.

Para calcular las **cargas por transmisión (Q)** se debe emplear la siguiente ecuación:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (4.1)$$

Siendo:

U: transmitancia térmica del cerramiento (W/m²K)

A: superficie del cerramiento (m²)

ΔT: diferencia de temperaturas.

Algunos de los datos necesarios para aplicarla han sido recogidos del programa CE3X, como son las transmitancias de los distintos cerramientos. Dichos datos y los resultados finales se muestran en la Tabla 4.3.

Cerramiento	Superficie (m ²)	U (W/m ² K)	ΔT	Q _{trans} (W)
Fachadas	196,82	0,63	26,5	3285,91
Suelo en contacto con el aire	8	0,46	26,5	97,52
Suelo en contacto con el terreno	82,22	0,72	26,5	1568,76
Vidrio	11	2	26,5	583,00
Marco	5,8	3,2	26,5	491,80
TOTAL				6026,99

Tabla 4.3 Datos de superficie, transmitancia y carga por transmisión correspondiente a cada cerramiento.

También se deben tener en cuenta las **cargas por infiltración o ventilación**, que son aquellas debidas a las corrientes de aire no deseadas. Para calcularlas se emplea la siguiente ecuación [15]:

$$Q = \dot{V} \cdot 0,34 \cdot \Delta T \quad (4.2)$$

Siendo:

V: caudal de ventilación (m³/h)

0,34: factor de corrección que tiene en cuenta el grado de exposición al viento y otras variables que afectan a las infiltraciones (adimensional).

ΔT: incremento de temperatura.

Dicho volumen de aire se calcula según la tabla 2.1 del DB-HS 3 del CTE (Figura 4.13). Teniendo en cuenta que la vivienda dispone de tres dormitorios, uno de ellos principal, una sala de estar, un comedor y dos baños, la suma de los caudales correspondientes a cada local sería la siguiente:

$$8+4\cdot4+10\cdot2= 44 \text{ l/s}$$

Dando un total de 12,22 m³/h.

Tabla 2.1 Caudales mínimos para ventilación de caudal constante en locales habitables

Tipo de vivienda	Caudal mínimo q _v en l/s				
	Locales secos ⁽¹⁾ ⁽²⁾			Locales húmedos ⁽²⁾	
	Dormitorio principal	Resto de dormitorios	Salas de estar y comedores ⁽³⁾	Mínimo en total	Mínimo por local
0 ó 1 dormitorios	8	-	6	12	6
2 dormitorios	8	4	8	24	7
3 o más dormitorios	8	4	10	33	8

Figura 4.13 Tabla 2.1 del DB-HS 3 del CTE. (Fuente: [13])

Por tanto, la carga térmica por ventilación es de un total de 110,10 W.

Otro factor a tener en cuenta es la potencia que tiene que aportar la bomba para la **producción de ACS**. En el caso de sistemas con acumulación, como el que corresponde al estudio, se aplicará la siguiente ecuación [15]:

$$Q_{ACS} = V \cdot \Delta T \cdot C_{P_{agua}} \quad (4.3)$$

Siendo:

V: cantidad de agua del acumulador. (Kg)

ΔT: Diferencia de temperatura entre el agua de suministro y la de acumulación.

C_{P,agua}: Calor específico el agua. (Kcal/kg°C)

El IDAE proporciona información sobre la temperatura de distribución a lo largo del año en las distintas provincias. Para el cálculo de la carga por producción de ACS se considerará la temperatura del mes más desfavorable en Ávila, que tiene un valor de 6 °C [16]. También se estima que el tiempo necesario para calcular el volumen de consumo máximo de una vivienda con tres dormitorios (112 l) es de 2h. Una vez introducidos todos los datos se obtiene lo siguiente:

$$Q_{ACS} = 112 \text{ kg} \cdot (60-6) \text{ °C} \cdot 1 \text{ Kcal/kg°C} \cdot (1/2 \text{ h}) = 3024 \text{ Kcal/h}$$

El resultado final, en vatios, sería de 3517 W.

Para concluir con el cálculo de la carga térmica que debe satisfacer la bomba de calor, se realizará la suma de todos los valores previamente calculados, obteniendo un total de 9654,09 W. En el método simplificado no se tienen en cuenta las cargas que aportan calor al interior de la vivienda. De esta forma se considera la situación más desfavorable. Por lo que la bomba que se escoja deberá tener una potencia nominal de al menos 9,7 kW.

Existen numerosas empresas reconocidas en la industria que fabrican bombas de calor geotérmicas. Algunas de las marcas más reconocidas son Carrier, Bosch, WaterFournace, Viessmann, NIBE... En este caso se ha optado por una de las bombas de calor geotérmicas que ofrece Vaillant, más concretamente el modelo geoTHERM VWS 141/2. Dicha bomba está diseñada para proporcionar un sistema completo de calefacción y agua caliente, ya que cuenta con un depósito de acumulación integrado de 180 litros.

En el catálogo se encuentra una tabla (Figura 4.14) que permite comparar distintos modelos y sus respectivas características. Uno de los datos más importantes que recoge la tabla es el COP. El COP (Coefficient of Performance) es la relación entre la cantidad de calor generado por una bomba (Q) y la energía eléctrica que necesita para producirlo (W) e indica la eficiencia de la bomba de calor. En este tipo de bombas el valor suele estar entre 3 y 5, pudiendo llegar hasta valores próximos a 6 en bombas de calor geotérmicas de fuente de agua profunda. Para el modo de calefacción queda definido de la siguiente forma [16]:

$$COP_{calefacción} = \frac{Q_{calefacción}}{W_{calefacción}} \quad (4.4)$$

$$Q_{calefacción} = COP_{calefacción} \cdot W_{calefacción} \quad (4.5)$$

El modelo escogido cuenta con una potencia nominal de calefacción de 16,1 kW y una potencia consumida de 3,4 kW. Se ha optado por este modelo y no por el anterior, de potencia 11,8kW, debido a que es preferible tener un margen más amplio para hacer frente a posibles imprevistos en la demanda o problemas con el equipo. A la bomba de calor geotérmica elegida le corresponde con un COP de 4,7, esto quiere decir que se generan 4,7 unidades de calor por cada unidad de electricidad consumida, lo que indica una alta eficiencia.

Datos técnicos	Unidad	VWS 61/2	VWS 81/2	VWS 101/2	VWS 141/2	VWS 171/2
Potencia calorífica (B5W35 ΔT=5K conforme a EN 14511)	kW	6,9	9,3	11,8	16,1	20,1
Consumo eléctrico	kW	1,4	2,0	2,5	3,4	4,3
Coefficiente de rendimiento COP	-	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
Potencia frigorífica (B25W18)	kW	8,8	12,7	14,8	20,8	25,5
Consumo eléctrico	kW	1,5	1,8	2,4	3,4	4,1
Coefficiente de rendimiento EER	-	5,7	6,9	6,1	6,1	6,2
Tensión nominal	-	230 V/50 Hz, 1/N/PE-			400 V/50 Hz, 3/N/PE-	
Consumo de potencia eléctrica máx. de B20W60	kW	2,8	4,0	4,9	6,8	7,7
Consumo de potencia eléctrica de la calefacción adicional	kW	4/5	4/6	4/6	6	5
Fusibles de acción lenta (D)	A	16	20	25	3 x 16	3 x 16
Corriente de arranque sin limitador	A	5,8	7,6	9,7	6,4	7,4
Corriente de arranque con limitador	A	<45	<45	<45	<25	<25
Consumo eléctrico de la bomba de calefacción	W	93	93	93	132	205
Consumo eléctrico de la bomba del circuito de captadores	W	132	132	132	205	210
Caudal nominal del circuito de calefacción	l/h	1.061	1.375	1.803	2.371	2.973
Presión disponible en el circuito de calefacción (ΔT=5K)	mbar	382	339	254	345	313
Caudal nominal del circuito de captadores	l/h	1.453	1.996	2.530	3.334	3.939
Presión disponible en el circuito de captadores (ΔT=3K)	mbar	381	332	263	252	277
Temperatura del circuito de calefacción (mín./máx.)	°C	25/62	25/62	25/62	25/62	25/62
Temperatura del circuito de captadores (mín./máx.) (1)	°C	-10/20	-10/20	-10/20	-10/20	-10/20
Presión de funcionamiento del circuito de calefacción (máx.)	bar	3	3	3	3	3
Presión de funcionamiento del circuito de captadores (máx.)	bar	3	3	3	3	3
Conexión de ida/retorno de calefacción	DN	G 1 1/4" / Ø 28 mm				
Conexión de ida/retorno de captadores	DN	G 1 1/4" / Ø 28 mm				
Nivel de potencia acústica	dB (A)	49	51	53	52	53
Carga de refrigerante R407 c	kg	1,90	2,20	2,05	2,90	3,05
Cantidad de aceite éster en compresor scroll	l	1,30	1,45	1,45	1,89	1,89
Dimensiones de la bomba de calor						
Altura	mm	1200	1200	1200	1200	1200
Anchura	mm	600	600	600	600	600
Profundidad	mm	840	840	840	840	840
Profundidad sin columna (medida de inserción)	mm	650	650	650	650	650
Peso en vacío (sin embalaje)	kg	141	148	152	172	179

Figura 4.14 Características de la bomba geotérmica geoTHERM VWS. (Fuente: [17])

4.2.1.2. CAMPO DE CAPTACIÓN GEOTÉRMICO

Como ya se mencionó anteriormente los campos de captación geotérmicos son sistemas utilizados para extraer el calor del terreno y aprovecharlo para calefacción y/o refrigeración y producción de ACS. Según el tipo de instalación y la trayectoria del fluido existen distintas configuraciones para los intercambiadores calor.

La configuración elegida en este proyecto consiste en una instalación en paralelo vertical que utiliza sondas de doble U, como la que se muestra en la Figura 4.17. Este tipo

de sondas, como el que ofrece en su catálogo REHAU (Figura 4.15), consiste en dos tubos de entrada del fluido y dos de salida, paralelos entre sí y unidos por un tramo de tubería en forma de U. Para su instalación se coloca un peso (lastre) al final que las empuja hasta el fondo de la perforación (Figura 4.16). Esta es una de las opciones más empleadas en sistemas geotérmicos de baja temperatura.



Figura 4.15 Sonda RAUGEO PE-Xa green. (Fuente: [18])



Figura 4.16 Pie de las sondas. (Fuente: [3])

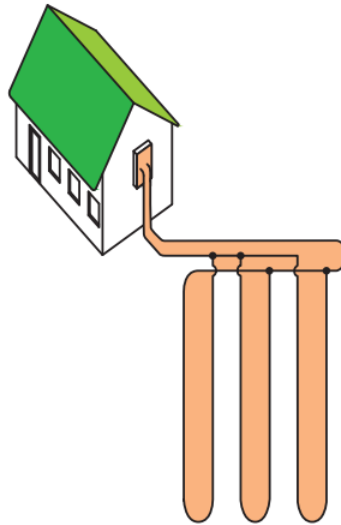


Figura 4.17 Sistema en paralelo vertical. (Fuente: [4])

Se ha elegido un sistema en paralelo considerando su principal ventaja, que radica en su menor coste en comparación con un sistema en serie. Esto se debe a que se disminuyen los diámetros de los tubos y por tanto el fluido de intercambio que circula por ellos.

Para el diseño del campo de captación se tendrá en cuenta la profundidad que deben tener las sondas, el número de perforaciones y la distancia entre ellas. Y se seguirá el procedimiento indicado en el apartado de Diseño de Sistemas de Intercambio Geotérmico de Circuito Cerrado de la Guía Técnica [4].

En primer lugar, se deben determinar las características del terreno. Según el estudio del terreno que se analizó en el apartado de "Prospecciones y ensayos" la conductividad térmica de la zona tiene un valor de $2,2 \text{ W/mK}$. Este resultado corresponde con la inversa de la resistencia térmica del suelo (R_s) que sería de $0,45 \text{ mK/W}$. Además, según el Estudio de Evaluación del Potencial de Energía Geotérmica que ofrece el IDAE la zona en la que se realiza el estudio tiene una capacidad térmica de 60 W/m [19].

Para la dimensión de las tuberías se considera un diámetro exterior de 32 mm , un espesor de 3 mm y una longitud de las sondas de 100 m . El fluido que circula a través de ellas es una mezcla de agua (70%) y monopropilenglicol (30%).

En el cálculo de la temperatura mínima de entrada de del fluido a la bomba de calor se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$T_{salida,c} = T_{entrada,c} - \frac{1000 \cdot P_c \cdot \frac{COP_c - 1}{COP_c}}{C_p \left(\frac{Q}{3600} \right)} \quad (4.6)$$

Siendo:

$T_{salida,c}$: Temperatura de salida del intercambiador. (°C)

$T_{entrada,c}$: Temperatura de entrada del intercambiador. (10 °C)

P_c : Potencia de calefacción de la bomba de calor. (16,1 kW)

C_p : Calor específico del fluido. (3818 J/kgK)

Q : Caudal. (1500 l/h)

COP = 4,7

Aplicando la fórmula se obtiene un resultado de 2,03 °C. Una vez obtenido este valor se puede hallar la temperatura mínima necesaria para el dimensionamiento de la instalación, que es una media entre la temperatura de entrada (temperatura del terreno) y la de salida.

$$T_{MIN} = \frac{1}{2} \cdot (10 + 2,03) = 6,02 \text{ °C}$$

La siguiente expresión se emplea para determinar la resistencia de los tubos al flujo de calor. Esto depende del material del que estén hechos, en este caso de polietileno de alta densidad, que tiene una conductividad térmica de 0,44 W/m K.

$$R_p = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot k_p} \cdot \ln \left(\frac{D_o}{D_i} \right) \quad (4.7)$$

Donde:

D_o : Diámetro exterior del tubo. (m)

D_i : Diámetro interior del tubo. (m)

k_p : Conductividad térmica material del tubo (W/m·K)

Una vez introducidos todos los datos se obtiene una $R_p = 0,075 \text{ K} \cdot \text{m}/\text{W}$.

Un último factor que se debe tener en cuenta para el cálculo de la longitud de los intercambiadores es el factor de utilización (F). Este se determina como la fracción de tiempo que está en marcha la bomba de calor multiplicada por la resistencia térmica del suelo. Suponiendo un periodo operativo de 2400 h/año, se consigue un factor de utilización de 0,11.

A partir de todos los parámetros anteriormente se puede calcular la longitud total que deberá tener el intercambiador enterrado mediante la siguiente expresión.

$$L = \frac{Q_c \cdot \frac{COP-1}{COP} \cdot (R_P + R_S \cdot F)}{T_L - T_{MIN}} \quad (4.8)$$

$$L = \frac{1000 \cdot 16,1 \cdot \frac{4,7 - 1}{4,7} \cdot (0,075 + 0,45 \cdot 0,11)}{10 - 6,02} = 396,5 \text{ m}$$

El resultado obtenido tiene que dividirse entre 2, ya que las tuberías son de bajada y subida. Teniendo esto en cuenta, la instalación deberá contar con 2 pozos de 100m de profundidad.

4.2.1.3. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

Se ha elegido un sistema de suelo radiante como sistema de distribución en este proyecto (Figura 1.7). Este tipo de sistema consiste en una serie de tuberías instaladas en el suelo bajo una capa de mortero a través de las cuales circula agua para climatizar una estancia. Su funcionamiento se basa en la transferencia de calor mediante conducción (cede calor al suelo) y radiación (el calor se irradia hacia arriba). Existen dos tipos:

- Suelo radiante eléctrico, que funciona mediante láminas calefactoras
- Suelo radiante hidráulico. En este caso es el agua que fluye a través de las tuberías la que intercambia calor con el suelo de la vivienda.

Es este último el que se va a emplear en la vivienda correspondiente al estudio.

Este sistema proporciona una distribución uniforme del calor y una mayor eficiencia energética, además de una ventaja estética al no requerir elementos visuales.

La temperatura a la que circula el agua en un suelo radiante para calefactar una vivienda suele ser más baja que en otros sistemas de distribución, como los radiadores, y normalmente se encuentra entre los 35°C y los 55 °C, no llegando nunca a superar los 55°C. De este modo se consigue un ambiente en torno a los 21 °C en todas las estancias.

El sistema cuenta con un colector en cada planta. Estos son los encargados de distribuir el caudal necesario en cada uno de los circuitos. El de la planta baja se trata de

un colector de seis vías (tres de ida y tres de retorno) que distribuye al agua por la cocina, el baño 1 y el salón. En la planta superior se encuentra un colector de ocho vías empleado para abastecer los circuitos de los tres dormitorios y el del baño 2.

El paso es la distancia horizontal que hay entre los tubos del suelo radiante, que se colocarán en espiral. Para el salón y la cocina será de 300 mm, para los dormitorios de 200mm, y en los baños será de 150mm ya que en zonas pequeñas suele ser menor para aumentar la potencia radiada. Este dato será necesario para poder aplicar la ecuación necesaria para el cálculo de la longitud de las tuberías de cada zona. Los resultados quedan reflejados en la Tabla 4.4.

$$L_{\text{circuito}} = \left(\frac{\text{Superficie (m}^2\text{)}}{\text{Paso (cm)}} \cdot 100 \right) + (2 \cdot \text{Distancia colector (m)}) \quad (4.9)$$

Planta	Estancia	Superficie (m ²)	Distancia al colector (m)	Paso (cm)	Longitud del circuito (m)
Planta baja	Baño 1	6,6	2,5	15	71
	Cocina	24,8	1,5	30	85,7
	Salón	20,8	2	30	73,4
Planta superior	Dormitorio 1	17,5	7	20	101,5
	Dormitorio 2	15,6	7	20	92
	Dormitorio 3	16,5	5	20	92,5
	Baño 2	13,5	4,5	15	99

Tabla 4.4 Dimensiones de los circuitos.

Se ha realizado una representación de cómo estaría distribuida la instalación del suelo radiante en las distintas estancias (Figura 4.18).

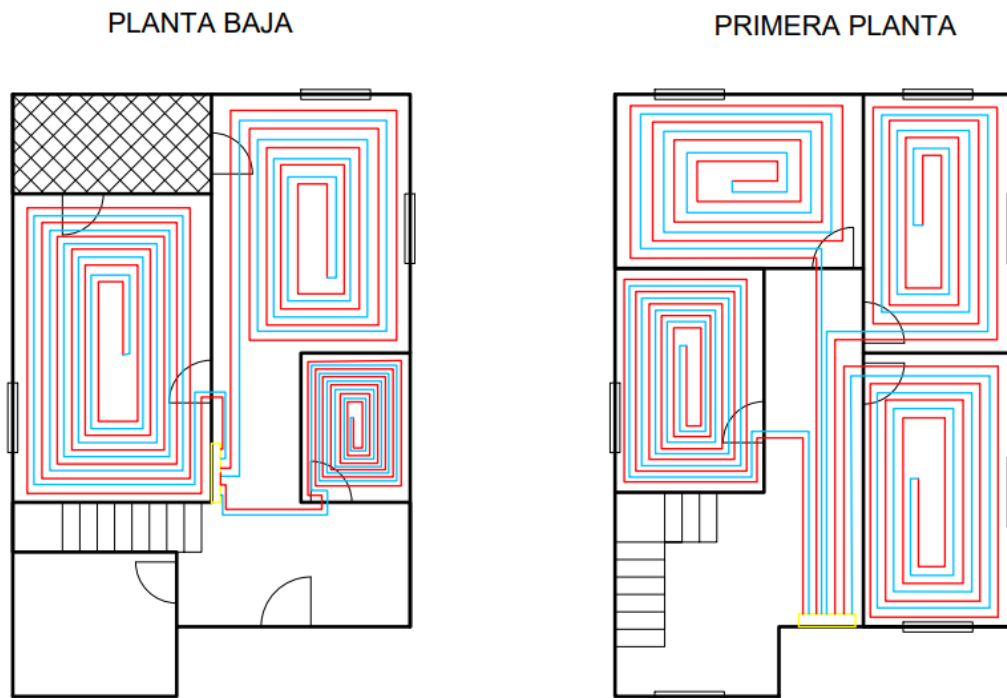


Figura 4.18 Esquema del sistema de suelo radiante seleccionado para la vivienda.

4.2.2. SOFTWARE EED

EED (Earth Energy Designer) es un software destinado al diseño de sistemas de bombas de calor geotérmicas. Su función principal se centra en el dimensionamiento de los pozos del sistema de captación vertical.

Durante el cálculo del sistema geotérmico nos va pidiendo información acerca de las variables del terreno o la temperatura del terreno en la zona de estudio. En conductividad térmica se introduce el valor determinado con los ensayos geofísicos y el resto de los valores los dejamos los que por defecto proporciona la herramienta en el emplazamiento seleccionado (Figura 4.19).

Earth Energy Designer - EED

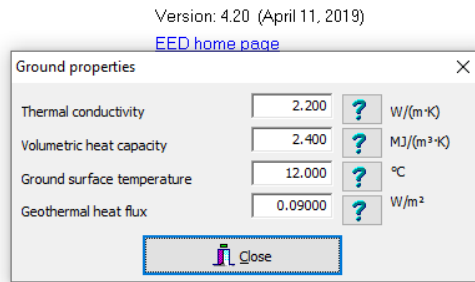


Figura 4.19 Propiedades del terreno. (Fuente: [20])

El siguiente paso es indicar el tipo de instalación geotérmica que se va a instalar. En este caso como se indicó anteriormente, se trata de un sistema de sonda doble-U de 32 mm de diámetro emplazadas en una perforación de 110 mm de diámetro externo (Figura 4.20).

Earth Energy Designer - EED

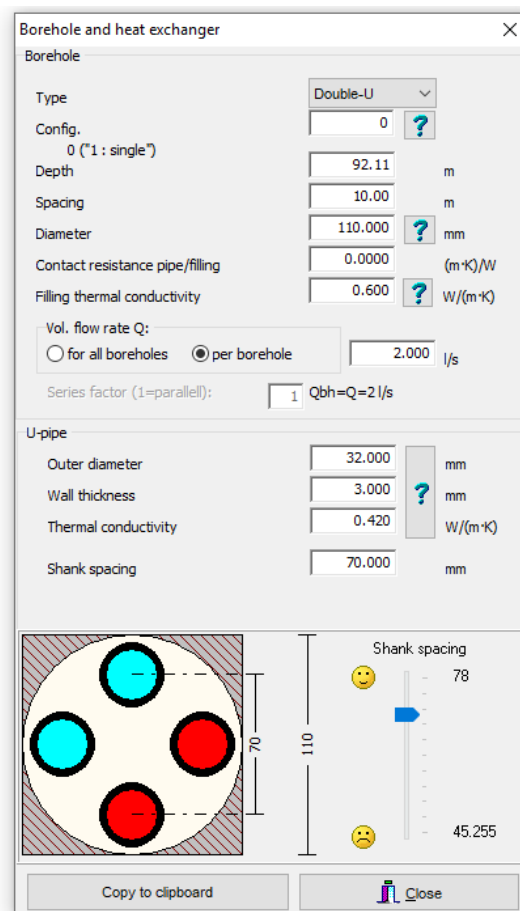


Figura 4.20 Pozo e intercambiador de calor. (Fuente: [20])

A su vez, se indica el tipo de fluido de trabajo (Figura 4.21), en este caso el monoprotilenglicol, por sus propiedades y su naturaleza no contaminante.

Earth Energy Designer - EED



Version: 4.20 (April 11, 2019)

Heat carrier fluid

Thermal conductivity	0.4750	W/(m·K)
Specific heat capacity	3930.0000	J/(Kg·K)
Density	1033.0000	Kg/m ³
Viscosity	0.007900	Kg/(m·s)
Freezing point	-10.00	°C

Close

Figura 4.21 Fluido caloportador. (Fuente: [20])

Posteriormente se introduce el valor de demanda energética de calefacción y ACS calculado para la vivienda. Se ha optado por un valor intermedio entre el proporcionado por la herramienta CE3X y el Excel.

Earth Energy Designer 4.20 DEMO UNTTITLED.DAT
File Input Cost data Solve Output Settings Info About

Earth Energy Designer - EED



Base load

Base load (without DHW):
 Annual energy and monthly profile
 Monthly energy values

[MWh]	Heat	Cool	Ground
Annual	18.000	0.000	
SPF	4.50	3.00	
January	0.195	0.000	2.289
February	0.148	0.000	2.191
March	0.125	0.000	1.969
April	0.099	0.000	1.505
May	0.064	0.000	1.015
June	0.000	0.000	0.119
July	0.000	0.000	0.119
August	0.000	0.000	0.119
September	0.061	0.000	0.973
October	0.097	0.000	1.337
November	0.117	0.000	1.757
December	0.144	0.000	2.135
Sum:	1	0	15.429

Domestic hot water (DHW):
 Annual 2.000 SPF 3.50

[MWh]	Heat pump	Ground	Building
Heat:	18x1/4.5 (4)	+ 18x3.5/4.5 (14)	= 18
DHW:	2x1/3.5 (0.5714)	+ 2x2.5/3.5 (1.4286)	= 2
Cool:	0x1/3 (0)	+ 0x4/3 (0)	= 0

Heat: Heat pump Building 4.5714 => 20
 Ground 15.429

Cool: Heat pump Building 0 => 0
 Ground 0

Heat extracted from ground: 14+1.4286=15.429

Graph Close

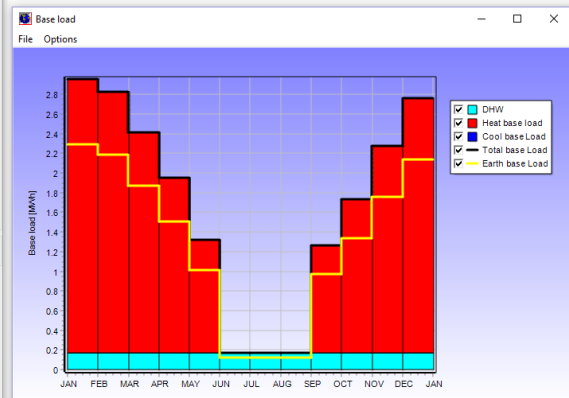


Figura 4.22 Carga base. (Fuente: [20])

Como se puede observar en la Figura 4.22 anterior, la bomba de calor tiene un consumo de 4,5714 MWh/año, lo que supone (considerando un periodo operativo de 2400h/año) una potencia de 2,29 kW. Estos valores coinciden con la bomba de calor previamente escogida, ya que su consumo eléctrico (3,4kW) supera los 2,29 kW. Es recomendable sobredimensionar esta potencia para hacer frente a posibles aumentos ocasionales de demanda o errores en el funcionamiento del sistema, por lo que se considerará una bomba de calor de 4 kW de consumo y un COP de 4.5, lo que suministra junto con el terreno una potencia de 18 kW. En la *Figura 4.22* también se encuentra una gráfica en la que se pueden apreciar la demanda eléctrica de la bomba en los distintos meses del año.

A continuación, se distribuye el funcionamiento de operación de la bomba de acuerdo con las necesidades energéticas mensuales en la zona (*Figura 4.23*).

Earth Energy Designer - EED



Peak heat and cool power				
	Peak heat		Peak cool	
	Power [kW]	Duration [h]	Power [kW]	Duration [h]
January	4.000	10.000	0.000	0.000
February	4.000	9.000	0.000	0.000
March	4.000	8.000	0.000	0.000
April	4.000	6.000	0.000	0.000
May	4.000	4.000	0.000	0.000
June	0.000	0.000	0.000	0.000
July	0.000	0.000	0.000	0.000
August	0.000	0.000	0.000	0.000
September	4.000	4.000	0.000	0.000
October	4.000	8.000	0.000	0.000
November	4.000	9.000	0.000	0.000
December	4.000	10.000	0.000	0.000

Figura 4.23 Pico de demanda de calefacción. (Fuente: [20])

Finalmente, el programa calcula la longitud de perforación necesaria, aportando diferentes soluciones y esquemas. Tomando la primera de ellas como la más óptima, el sistema requiere 1 perforación de 92.1 m, como se aprecia en la Figura 4.24.

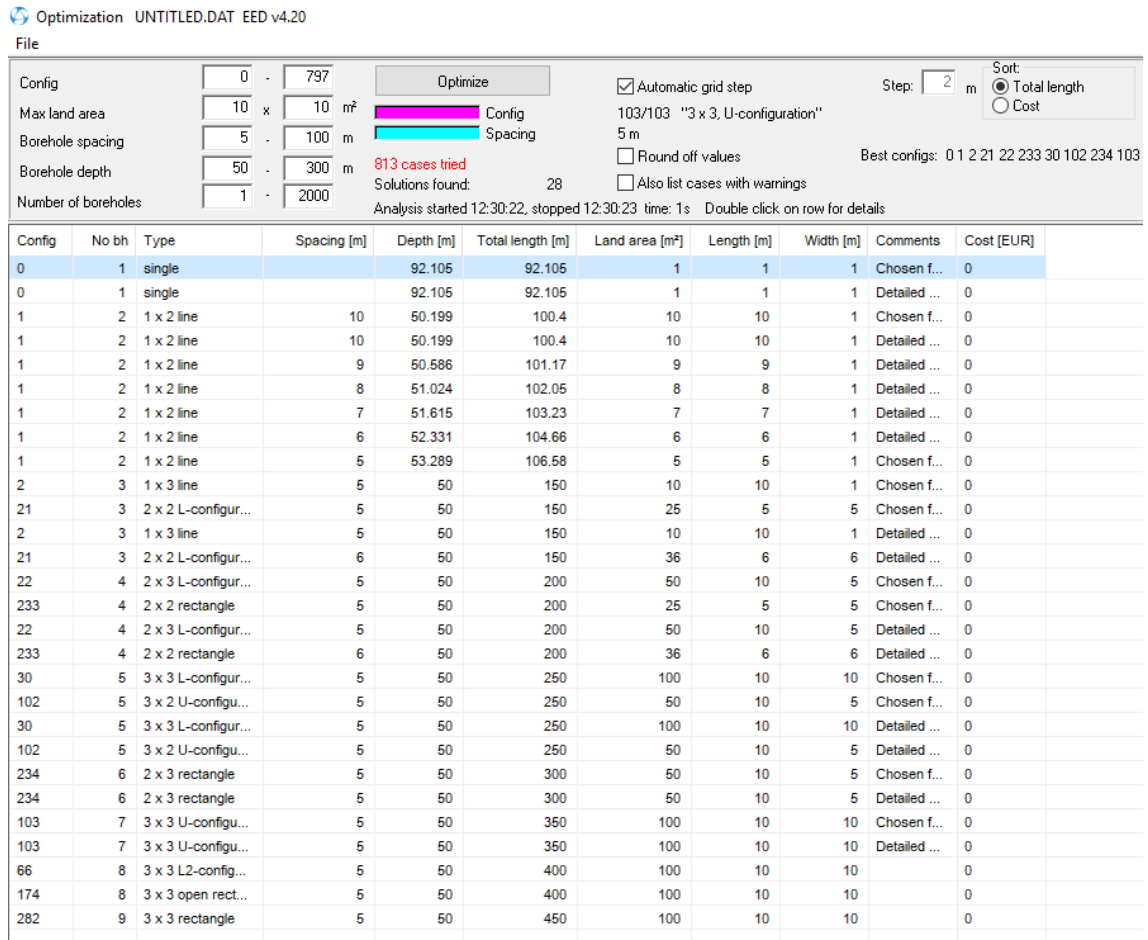


Figura 4.24 Opciones para las perforaciones. (Fuente: [20])

EED también proporciona una estimación de cómo evoluciona la temperatura del fluido geotérmico a lo largo de la vida útil de la instalación (25 años) (Figura 4.25) y en función de la profundidad (Figura 4.26).

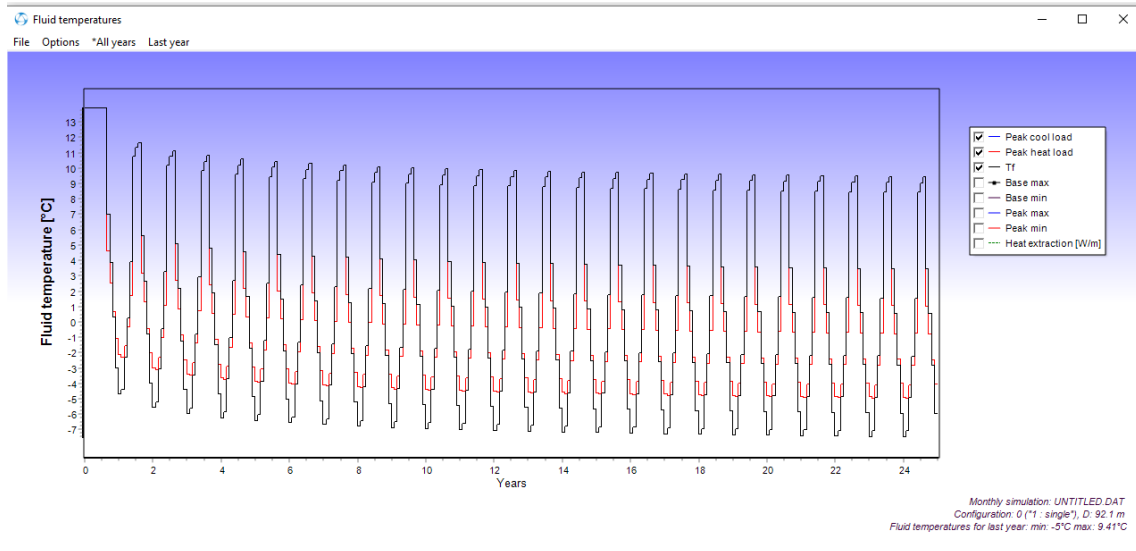


Figura 4.25 Temperatura del fluido caloportador a lo largo de su vida útil. (Fuente: [20])

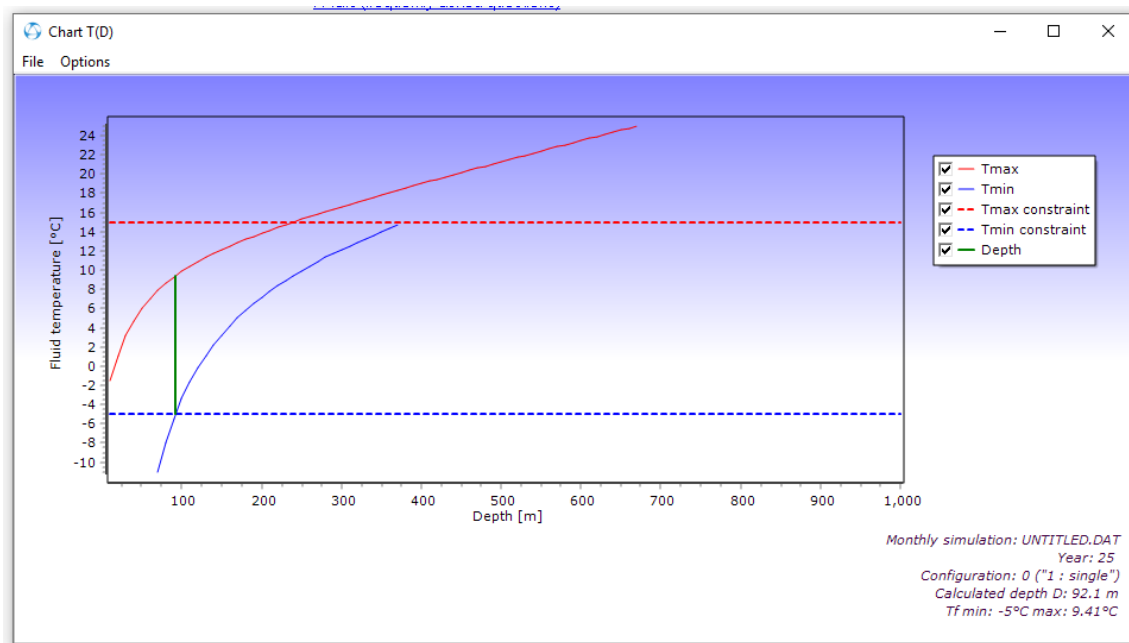


Figura 4.26 Temperatura del fluido en función de la profundidad. (Fuente: [20])

5. Comparación con otras fuentes de energía

5.1. ESTUDIO ECONÓMICO

En este apartado se estimará el precio inicial de la instalación geotérmica considerando todos los componentes necesarios y se determinará el tiempo de amortización respecto a otras fuentes de energía.

Se ha dividido el precio final entre las tres partes que componen el sistema:

- La bomba de calor, en cuyo precio se incluye la conexión del circuito, llaves de corte y otros sistemas de regulación.
- El sistema de captación dividido en las sondas de polietileno y las perforaciones necesarias para su instalación. Dentro del precio de las perforaciones se engloba el transporte la colocación de la sonda y el relleno con mortero estándar.
- El suelo radiante comprende el precio de las tuberías de polietileno, colectores, conexiones y sistemas de regulación.

El precio de la bomba viene reflejado en el catálogo que pone a disposición Vaillant [21], mientras que para determinar los precios del resto de componentes se ha empleado una herramienta generadora de precios de la construcción que ofrece CYPE [22]. Todos estos valores quedan reflejados en la siguiente Tabla 5.1 junto con el total.

		Precio
Bomba de calor		14.457,92 €
Sistema de captación	Sondas	4.533,84 €
	Perforaciones	
Sistemas de distribución	Tubos	12.335,07 €
	Captadores	
	Sistemas de regulación	
TOTAL		31.326,83 €

Tabla 5.1 Precios de la instalación geotérmica.

También es importante tener en cuenta que la Junta de Castilla y León ofrece subvenciones a todas aquellas instalaciones destinadas a la climatización o producción de ACS mediante fuentes de energía renovables (solar térmica, biomasa, geotermia y aerotermia). Para calcularla pone a nuestra disposición un Excel de carácter informativo. En este caso en concreto la ayuda estaría en torno a un 10% [23], lo que resulta en un descuento de 3600 €.

Por último, se debe incluir un coste de mantenimiento decenal que oscila alrededor de los 300 €.

Una vez cubierta la inversión inicial solo se deberá pagar el coste de la electricidad que necesita la bomba de calor para su funcionamiento (3830 kWh), el cual está, actualmente, en un precio medio diario de 0,1606 €/kWh [24].

GAS NATURAL

Las calefacciones de gas natural son uno de los sistemas más empleados debido a la disponibilidad del combustible que utilizan, su alta eficiencia y a su bajo coste inicial, que suele estar en torno a los 15000 €, incluyendo el suelo radiante. Para calcular el coste de este tipo de instalación también hay que tener en cuenta el precio del gas natural, que se divide en un precio variable y un precio fijo, los cuales se encuentran en torno a los 0,948 €/kWh y 10 €/mes respectivamente [24].

Con la demanda de calefacción calculada anteriormente (18000 kWh/año) y suponiendo un rendimiento de combustión del 90% se estima que el consumo anual, en el caso de contar con una caldera de gas natural, sería de 20000 kWh.

Teniendo esto en cuenta, en la siguiente grafica (*Figura 5.1*) se puede ver la progresión que tiene el coste acumulado de una caldera de gas natural en comparación con el de la instalación geotérmica. En ella se puede apreciar que antes de 8 años se habría amortizado el coste inicial de la instalación geotérmica.

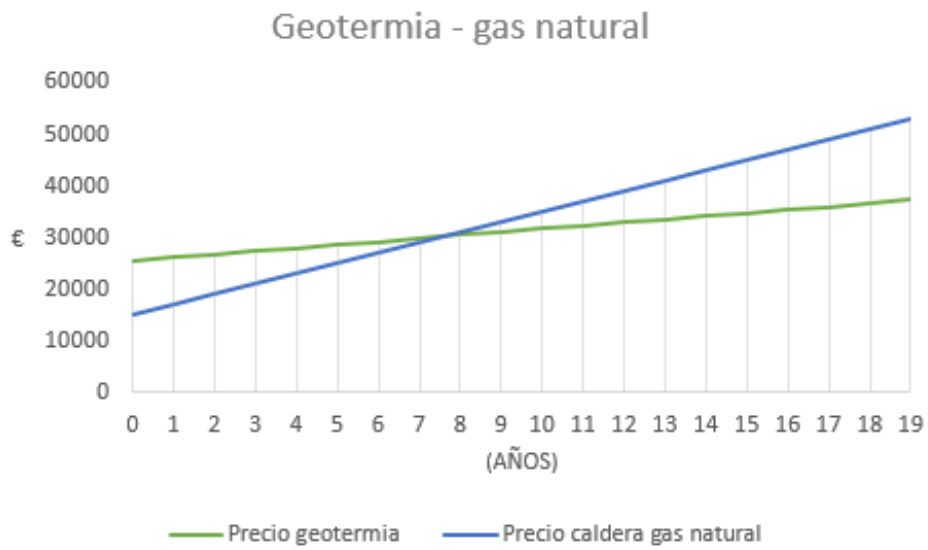


Figura 5.1 Amortización instalación geotérmica respecto a una caldera de gas natural.

BIOMASA

La biomasa es una fuente de energía renovable que se obtiene a partir de restos de materia orgánica, como pueden ser residuos de origen forestal, agrícola o animal.

En general, se estima que 1kg de biomasa equivale aproximadamente a 5kWh de calor generado, por lo que para una vivienda con una demanda de 1800kWh/año se consumirían 3600 kg de pellets al año.

Con estos datos, y considerando un precio de 0,315 €/kg para los pellets y de 15.000€ para la instalación inicial, se puede observar en la Figura 5.2 el coste acumulado que supondría una calefacción de biomasa respecto a la instalación geotérmica. En este caso, el tiempo de amortización para la calefacción geotérmica sería mayor que en el caso anterior, lo que quiere decir que el uso de biomasa es una opción más económica que el gas natural.

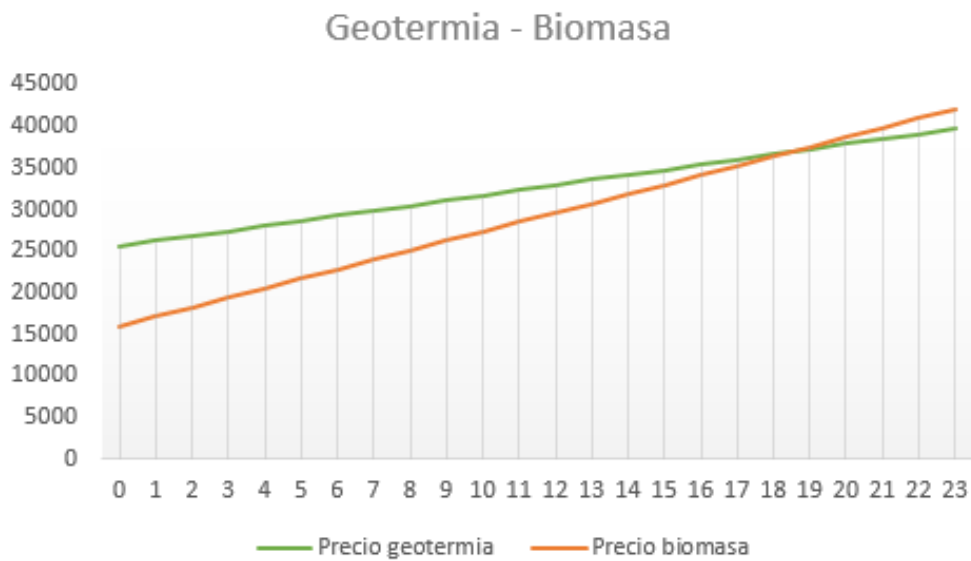


Figura 5.2 Amortización instalación geotérmica respecto a una caldera de biomasa.

ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

La energía solar térmica es aquella que utiliza la luz solar para producir calor. Se suele emplear en sistemas de calefacción, para producción de ACS, en la climatización de piscinas, en procesos industriales, etc.

La instalación necesaria para climatizar una vivienda utilizando este tipo de energía está formada por tres partes principales, los colectores solares, el sistema de acumulación, donde se almacena agua caliente para su posterior uso, y el sistema de distribución. El coste total de una instalación de estas características es más bajo que en el caso de la geotermia, oscilando alrededor de 15000 € una vez aplicadas las subvenciones que afectan a este tipo de energía.

La calefacción solar térmica no puede cubrir la demanda total de calefacción de la vivienda, se podría obtener como máximo entre un 90% y un 100% para el agua caliente sanitaria y entre el 30 y el 50% de calefacción [25]. Por este motivo es necesario un alto aporte de energía de la red eléctrica, lo que hace que el coste acumulado aumente más rápidamente en comparación con la geotermia, como se ve en la Figura 5.3.

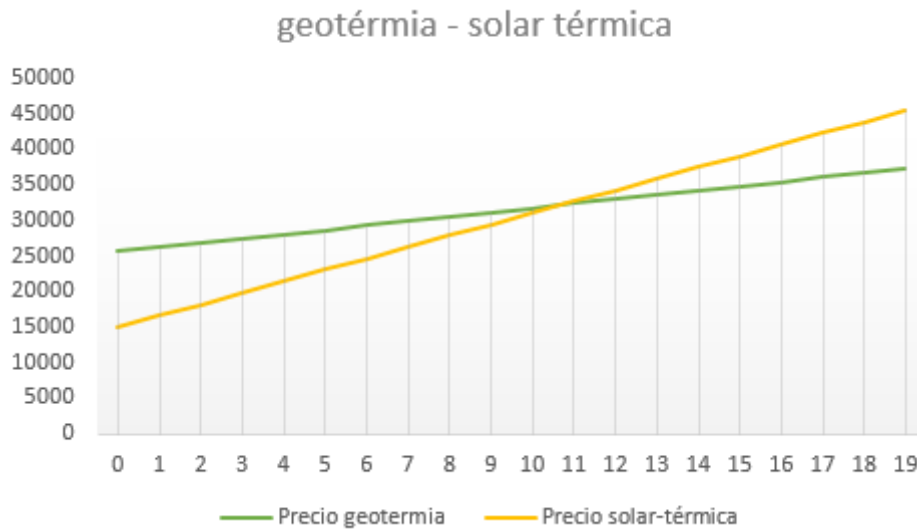


Figura 5.3 Amortización instalación geotérmica respecto a una instalación solar térmica.

5.2. ESTUDIO MEDIOAMBIENTAL

La geotermia es un tipo de energía renovable por lo que no generan emisiones directas de CO₂. Sin embargo, hay que considerar la energía eléctrica requerida para el funcionamiento de la bomba de calor. Esto se tuvo en cuenta en el certificado de eficiencia energética de la herramienta CE3X, con el que, como ya se mencionó anteriormente (4.1), se obtuvo una clasificación A y unas emisiones de CO₂ de 519,0 kgCO₂/año. En el caso de que la electricidad se obtuviera de fuentes de energía renovable se conseguirían reducir dichas emisiones al mínimo.

GAS NATURAL

El gas natural es un combustible fósil con un alto poder calorífico, que como ya se mencionó es muy comúnmente utilizado en sistemas de calefacción. Pero también es importante valorar el impacto medioambiental que supone este tipo de instalaciones. Con este fin el Ministerio de Transición Ecológica pone a disposición un documento que recoge los factores de emisión de distintos combustibles empleados en sistemas de calefacción [25]. El factor de emisión para el gas natural 0,184 kgCO₂/kWh_{PCS}. Conociendo este valor y el consumo de gas natural al año (19800 kWh) se obtiene que las emisiones de CO₂

generadas por una caldera de gas natural en la vivienda a la que corresponde este estudio serían de 3643,2 kgCO₂/año.

BIOMASA

Hay distintos tipos de combustible para las calderas de biomasa. Dependiendo de su origen puede ser biomasa de madera, de pellets, astillas, serrines y virutas, cascara de frutos secos o huesos de aceituna. Cada uno de estos tipos tiene unas emisiones diferentes, por lo que en este caso se estudiará el impacto de la biomasa de pellets, ya que es la más utilizada.

Al ser de origen biogénico este tipo de combustible se considera neutro en emisiones de CO₂, pero sí produce emisiones de CH₄ y N₂O, 5,424 gCH₄/kg y 0,072 gN₂O/kg en el caso de los pellets [25].

Las emisiones de CO₂ sin considerar su origen biogénico serían de 1,474 kgCO₂/kg, por lo que teniendo en cuenta la demanda térmica de la vivienda a lo largo de un año y que se necesitan en torno a los 3.600 kg de pellets en ese periodo de tiempo, las emisiones de CO₂ para este edificio serían de 5.306,4 kgCO₂/año.

También es importante, en cuestiones medioambientales, garantizar que este tipo de combustible provenga de fuentes sostenibles, evitando así el agotamiento de recursos naturales.

ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

La energía solar térmica es ampliamente empleada en sistemas de climatización y como ocurre con las otras fuentes de energía renovables, se considera libre de emisiones de CO₂.

Se podrían considerar las emisiones vinculadas al consumo de electricidad durante los periodos en los que la radiación solar es insuficiente. Este valor estaría próximo al que genera la instalación geotérmica.

6. Conclusiones

Como conclusión cabe destacar la importancia de un buen diseño de la instalación geotérmica, ya que esto implica un rendimiento óptimo y un menor coste inicial. Un buen diseño considera de forma precisa la demanda térmica de la vivienda, las propiedades térmicas del terreno y los componentes clave del sistema.

Igualmente es importante mencionar la necesidad de un buen aislamiento del edificio de forma que se reduzca al mínimo la pérdida de calor. Esto supondría una menor demanda energética y, por ende, un coste más bajo. Por ejemplo, con las medidas de mejora del aislamiento propuestas en el apartado 4.1 para la vivienda correspondiente al estudio, la demanda de calefacción pasaría de 17.658 kWh/año a 13.760 kWh anuales (Anexo 1.1) [12]. Por este motivo, actualmente, el CTE fomenta la construcción de edificios altamente eficientes con el objetivo de conseguir un entorno más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

También hay opciones que combinan distintos tipos de energías renovables (sistemas híbridos de energía renovable). Por ejemplo, en este caso se podría considerar la incorporación de paneles solares fotovoltaicos que generasen la electricidad necesaria tanto para el funcionamiento de la bomba de calor como para cubrir otras necesidades de la vivienda, como iluminación y diversos electrodomésticos.

Es necesario potenciar el uso de fuentes de energía renovable y seguir investigando en nuevas tecnologías para lograr un futuro más sostenible. En este sentido, la energía geotérmica es una muy buena opción si se dispone del espacio y las condiciones del terreno necesarias.

Bibliografía

- 1] «Instalaciones y Eficiencia Energética,» [En línea]. Available: <https://instalacionesyeficienciaenergetica.com/calefaccion-por-geotermia/>.
- 2] «Arquitectura Consciente,» 2020. [En línea]. Available: <https://arquitecturaconsciente.es/energiageotermicasuperficial>.
- 3] R. U. P. Solutions, «Rehau,» 2008. [En línea]. Available: <https://www.rehau.com/downloads/305376/info-tecnica-raugeo.pdf>.
- 4] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), «Guía Técnica. Diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado.,» 2012. [En línea]. Available: https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Gu%C3%ADas%20t%C3%A9cnicas/Guia_Climatizacion_Bomba.pdf.
- 5] «Geotermia Vertical,» [En línea]. Available: <https://www.geotermiavertical.es/suelo-radiante-ventajas-inconvenientes/>.
- 6] «Google Maps,» [En línea]. Available: <https://www.google.es/maps/@40.2085,-3.713,6z?hl=es>.
- 7] Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), «Guía Técnica. Condiciones climáticas exteriores de proyecto.,» [En línea]. Available: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_12_Guia_tecnica_condiciones_climaticas_exteriores_de_proyecto_e4e5b769.pdf.
- 8] Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), «datosclima.es -Base de datos meteorológica-,» [En línea]. Available: <https://datosclima.es/Aemehistorico/Meteostation.php>.
- 9] Instituto Geológico y Minero de España (IGME), «Cartografía del IGME,» [En línea]. Available: <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50Hoja.aspx?Id=531&language=es>.
- 10] «ROORKEE INDUSTRIES,» [En línea]. Available: <https://www.roorkeeindustries.in/>.
- 11] A. F. M. P. C. G. D. G.-A. Cristina Sáez Blázquez, «Thermal conductivity characterization of three geological formations by the implementation of geophysical methods,» *Sciencedirect*, vol. 78, 2018.
- 12] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, «CE3X».

- 13] Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana, «Documento Básico HE del Código Técnico de edificación,» [En línea]. Available: <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DcmHE.pdf>.
- 14] Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática, «Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado,» 2 junio 2021. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/boe/dias/2021/06/02/pdfs/BOE-A-2021-9176.pdf>.
- 15] B. D. M. Santos, «ingenierosindustriales.com - Cálculo de cargas térmicas de climatización,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.ingenierosindustriales.com/calculo-de-cargas-termicas-de-climatizacion/>.
- 16] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), «Guía Técnica. Agua caliente sanitaria central.,» [En línea]. Available: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_08_Guia_tecnica_agua_caliente_sanitaria_central_906c75b2.pdf.
- 17] Vaillant Group, «Vaillant,» [En línea]. Available: <https://www.vaillant.es/downloads/nuevos/geotermia-201202-cc-284500.pdf>.
- 18] R. U. P. Solutions, «ACAE,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.acae.es/catalogos/rehau/fiebdc/RAUGEO-Sistemas-geotermicos.pdf>.
- 19] Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), «Plan de Energías Renovables (PER) - Evaluación del Potencial de energía Geotérmica,» 2011. [En línea]. Available: [idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_e9_geotermia_A_db72b0ac.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_e9_geotermia_A_db72b0ac.pdf).
- 20] E. - E. E. Designer, «Borehole Heat Exchangers».
- 21] Vaillant, «Tarifa 2023 - Guia rápida de precios - Vaillant,» [En línea]. Available: <https://www.vaillant.es/downloads/tarifa/2023-3/va-tarifa-2023-2596843.pdf>.
- 22] S. CYPE Ingenieros, «Generador de Precios,» [En línea]. Available: <http://www.generadordeprecios.info/#gsc.tab=0>.
- 23] Junta de Castilla y León, «SEDE ELECTÓNICA de Castilla y León,» [En línea]. Available: <https://www.tramitacastillayleon.jcyl.es/web/jcyl/AdministracionElectronica/es/Plantilla100Detalle/1251181050732/Ayuda012/1285096607543/Propuesta>.
- 24] Selectra, «PrecioGas,» [En línea]. Available: <https://preciogas.com/>.
- 25] «inarquia - Calefacción Solar Térmica: Energía Renovable y Rentable,» [En línea]. Available: <https://inarquia.es/calefaccion-solar-termica-energia-renovable/>.

26] Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico, «Factores de emisión,» 2023. [En línea]. Available: https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/factoresemission_tcm30-479095.pdf.

Anexos

1. Cálculos

1.1 Cálculos con CE3X

CERTIFICADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS

IDENTIFICACIÓN DEL EDIFICIO O DE LA PARTE QUE SE CERTIFICA:

Nombre del edificio	EDIFICIO CON INSTALACION GEOTERMICA		
Dirección	C.BELGICA		
Municipio	Ávila	Código Postal	05004
Provincia	Ávila	Comunidad Autónoma	Castilla y León
Zona climática	E1	Año construcción	2008
Normativa vigente (construcción / rehabilitación)	C.T.E.		
Referencia/s catastral/es	8518911UL5081N0000JA		

Tipo de edificio o parte del edificio que se certifica:

<input type="radio"/> Edificio de nueva construcción	<input checked="" type="radio"/> Edificio Existente
<input checked="" type="radio"/> Vivienda <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="radio"/> Unifamiliar <input type="radio"/> Bloque <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Bloque completo <input type="radio"/> Vivienda individual 	<input type="radio"/> Terciario <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Edificio completo <input type="radio"/> Local

DATOS DEL TÉCNICO CERTIFICADOR:

Nombre y Apellidos	ALBA RODRIGUEZ PEREZ	NIF(NIE)	71715225Y
Razón social	TFG	NIF	4643210013
Domicilio	Cjón. Campus Vegazana		
Municipio	LEON	Código Postal	24007
Provincia	León	Comunidad Autónoma	Castilla y León
e-mail:	ARODRP17@ESTUDIANTES.UNILEON.ES	Teléfono	665701849
Titulación habilitante según normativa vigente	INGENIERA TECNICA INDUSTRIAL		
Procedimiento reconocido de calificación energética utilizado y versión:	CEXv2.3		

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA OBTENIDA:

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE [kWh/m ² año]	EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO [kgCO ₂ / m ² año]

El técnico abajo firmante declara responsablemente que ha realizado la certificación energética del edificio o de la parte que se certifica de acuerdo con el procedimiento establecido por la normativa vigente y que son ciertos los datos que figuran en el presente documento, y sus anexos:

Fecha: 26/05/2023

Firma del técnico certificador

Anexo I. Descripción de las características energéticas del edificio.

Anexo II. Calificación energética del edificio.

Anexo III. Recomendaciones para la mejora de la eficiencia energética.

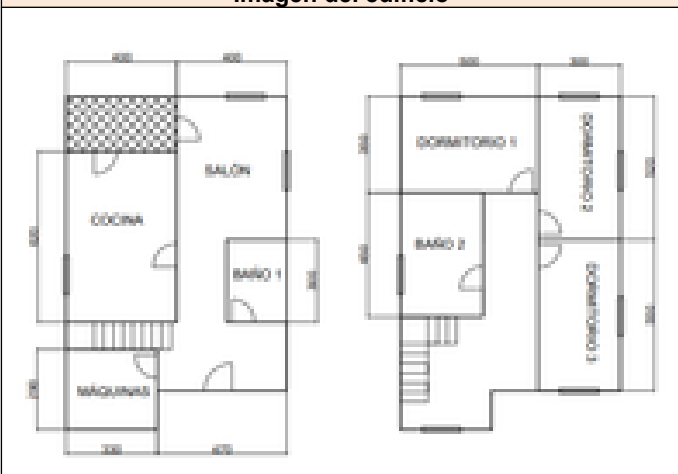
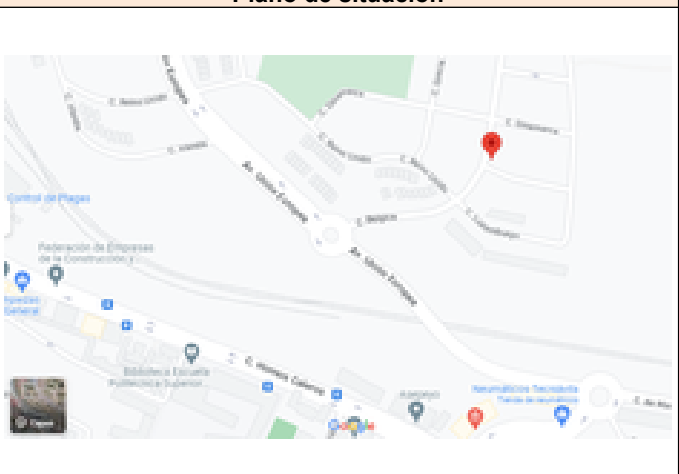
Anexo IV. Pruebas, comprobaciones e inspecciones realizadas por el técnico certificador.

Registro del Órgano Territorial Competente:

ANEXO I DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DEL EDIFICIO

En este apartado se describen las características energéticas del edificio, envolvente térmica, instalaciones, condiciones de funcionamiento y ocupación y demás datos utilizados para obtener la calificación energética del edificio.

1. SUPERFICIE, IMAGEN Y SITUACIÓN

Superficie habitable [m²]	172.44
Imagen del edificio	Plano de situación
	

2. ENVOLVENTE TÉRMICA

Cerramientos opacos

Nombre	Tipo	Superficie [m ²]	Transmitancia [W/m ² ·K]	Modo de obtención
FACHADA NORTE	Fachada	61.93	0.63	Estimadas
FACHADA SUR	Fachada	63.66	0.63	Estimadas
FACHADA ESTE	Fachada	39.79	0.63	Estimadas
FACHADA OESTE	Fachada	43.62	0.63	Estimadas
SUELO EN CONTACTO CON EL TRRENO	Suelo	82.22	0.72	Estimadas
SUELO EN CONTACTO CON EL AIRE	Suelo	8.0	0.46	Estimadas
Partición superior	Partición Interior	90.22	0.47	Estimadas

Huecos y lucernarios

Nombre	Tipo	Superficie [m ²]	Transmitancia [W/m ² ·K]	Factor solar	Modo de obtención. Transmitancia	Modo de obtención. Factor solar
VENTANAS N	Hueco	1.68	2.36	0.47	Conocido	Conocido
VENTANAS S	Hueco	1.68	2.36	0.47	Conocido	Conocido
VENTANAS E	Hueco	1.68	2.36	0.47	Conocido	Conocido
VENTANAS O	Hueco	1.68	2.36	0.47	Conocido	Conocido
PUERTA PORCHE N	Hueco	1.73	2.36	0.47	Conocido	Conocido
PUERTA PORCHE E	Hueco	1.73	2.36	0.47	Conocido	Conocido

3. INSTALACIONES TÉRMICAS

Generadores de calefacción

Nombre	Tipo	Potencia nominal [kW]	Rendimiento Estacional [%]	Tipo de Energía	Modo de obtención
Calefacción y ACS	Bomba de Calor		246.6	Electricidad	Estimado
TOTALES	Calefacción				

Generadores de refrigeración

Nombre	Tipo	Potencia nominal [kW]	Rendimiento Estacional [%]	Tipo de Energía	Modo de obtención
TOTALES	Refrigeración				

Instalaciones de Agua Caliente Sanitaria

Demanda diaria de ACS a 60° (litros/día)	112.0
--	-------

Nombre	Tipo	Potencia nominal [kW]	Rendimiento Estacional [%]	Tipo de Energía	Modo de obtención
Calefacción y ACS	Bomba de Calor		473.6	Electricidad	Estimado
TOTALES	ACS				

6. ENERGÍAS RENOVABLES

Térmica

Nombre	Consumo de Energía Final, cubierto en función del servicio asociado [%]			Demanda de ACS cubierta [%]
	Calefacción	Refrigeración	ACS	
Contribuciones energéticas	75.0	-	100.0	-
TOTAL	75.0	-	100.0	-

ANEXO II CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

Zona climática	E1	Uso	Residencial
----------------	----	-----	-------------

1. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN EMISIONES

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES				
	3.9 A	CALEFACCIÓN		ACS	
	<i>Emisiones calefacción [kgCO₂/m² año]</i>		A	<i>Emisiones ACS [kgCO₂/m² año]</i>	
	3.86			0.00	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
<i>Emisiones globales [kgCO₂/m² año]</i>		<i>Emisiones refrigeración [kgCO₂/m² año]</i>		<i>Emisiones iluminación [kgCO₂/m² año]</i>	
		0.00		-	

La calificación global del edificio se expresa en términos de dióxido de carbono liberado a la atmósfera como consecuencia del consumo energético del mismo.

	kgCO ₂ /m ² año	kgCO ₂ /año
<i>Emisiones CO₂ por consumo eléctrico</i>	3.03	522.28
<i>Emisiones CO₂ por otros combustibles</i>	0.83	143.25

2. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO EN CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE

Por energía primaria no renovable se entiende la energía consumida por el edificio procedente de fuentes no renovables que no ha sufrido ningún proceso de conversión o transformación.

INDICADOR GLOBAL	INDICADORES PARCIALES				
	21.8 A	CALEFACCIÓN		ACS	
	<i>Energía primaria calefacción [kWh/m² año]</i>		A	<i>Energía primaria ACS [kWh/m² año]</i>	
	21.80			0.00	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
<i>Consumo global de energía primaria no renovable [kWh/m² año]</i>		<i>Energía primaria refrigeración [kWh/m² año]</i>		<i>Energía primaria iluminación [kWh/m² año]</i>	
		0.00		-	

3. CALIFICACIÓN PARCIAL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN

La demanda energética de calefacción y refrigeración es la energía necesaria para mantener las condiciones internas de confort del edificio.

DEMANDA DE CALEFACCIÓN	DEMANDA DE REFRIGERACIÓN
	No calificable
102.4 D	
<i>Demanda de calefacción [kWh/m² año]</i>	<i>Demanda de refrigeración [kWh/m² año]</i>

El indicador global es resultado de la suma de los indicadores parciales más el valor del indicador para consumos auxiliares, si los hubiera (sólo ed. terciarios, ventilación, bombeo, etc...). La energía eléctrica autoconsumida se descuenta únicamente del indicador global, no así de los valores parciales

ANEXO III RECOMENDACIONES PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

MEDIDAS DE MEJORA

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA GLOBAL

CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA NO RENOVABLE [kWh/m ² año]	EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO [kgCO ₂ / m ² año]
<p style="text-align: center;">17.0 A</p>	<p style="text-align: center;">3.0 A</p>

CALIFICACIONES ENERGÉTICAS PARCIALES

DEMANDA DE CALEFACCIÓN [kWh/m ² año]	DEMANDA DE REFRIGERACIÓN [kWh/m ² año]
<p style="text-align: center;">79.8 C</p>	<p style="font-size: 1.2em; font-weight: bold;">No calificable</p>

ANÁLISIS TÉCNICO

Indicador	Calefacción		Refrigeración			ACS		Iluminación			Total	
	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original	
Consumo Energía final [kWh/m ² año]	9.70	22.1%	0.00	-%	-%	0.00	-%	-	-%	9.70	22.1%	
Consumo Energía primaria no renovable [kWh/m ² año]	16.98 A	22.1%	0.00	-	-%	0.00	A	-	-	16.98	A	22.1%
Emisiones de CO ₂ [kgCO ₂ /m ² año]	3.01 A	22.1%	0.00	-	-%	0.00	A	-	-	3.01	A	22.1%
Demanda [kWh/m ² año]	79.76 C	22.1%	0.00	-	-%							

Nota: Los indicadores energéticos anteriores están calculados en base a coeficientes estándar de operación y funcionamiento del edificio, por lo que solo son válidos a efectos de su calificación energética. Para el análisis económico de las medidas de ahorro y eficiencia energética, el técnico certificador deberá utilizar las condiciones reales y datos históricos de consumo del edificio.

DESCRIPCIÓN DE LA MEDIDA DE MEJORA

Características de la medida (modelo de equipos, materiales, parámetros característicos)

Coste estimado de la medida

-

Otros datos de interés

ANEXO IV PRUEBAS, COMPROBACIONES E INSPECCIONES REALIZADAS POR EL TÉCNICO CERTIFICADOR


Se describen a continuación las pruebas, comprobaciones e inspecciones llevadas a cabo por el técnico certificador durante el proceso de toma de datos y de calificación de la eficiencia energética del edificio, con la finalidad de establecer la conformidad de la información de partida contenida en el certificado de eficiencia energética.

Fecha de realización de la visita del técnico certificador	26/05/2023
---	------------

COMENTARIOS DEL TÉCNICO CERTIFICADOR

1.2 Cálculos con Excel

CALCULO DE LA DEMANDA ENERGETICA ANUAL kWh
Metodo mensual prEN 13790



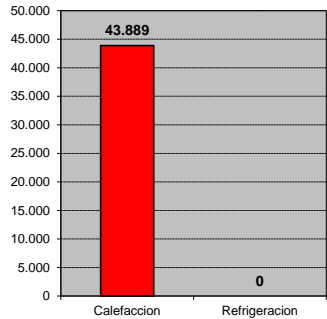
Emplazamiento

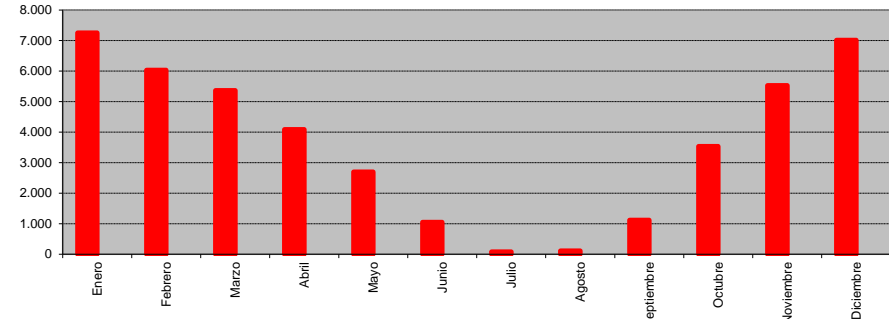
Avila

Superficie **172,44**

Altura **5,4**

Gan. W/m2	Inercia Kg/m2	Renov. aire (n) Calef.	Temp. Calefac
4	175	1	21
			Refrig. 24

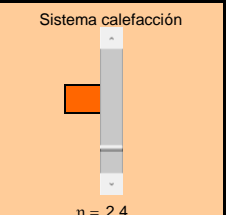




FACHADA SUR			FACHADA SUR ESTE			FACHADA NORTE			FACHADA OESTE			FACHADA SUR OESTE			CUBIERTA			SUELO					
Superficie	65,34		Superficie	0		Superficie	43,2		Superficie	65,34		Superficie	45,3		Superficie	0		Superficie	90,22		Superficie	82,22	
% Ventanas	7,71		% Ventanas	0		% Ventanas	15,67		% Ventanas	7,79		% Ventanas	12,05		% Ventanas	0		% Ventanas	0		% Ventanas	0	
Longitud P. térmicos			Longitud P. térmicos			Longitud P. térmicos			Longitud P. térmicos			Longitud P. térmicos			Longitud P. térmicos			Longitud P. térmicos			Longitud P. térmicos		
F.Forj.Superior	0		F.Forj.Superior	0		F.Forj.Superior	0		F.Forj.Superior	0		F.Forj.Superior	0		F.Forj.Superior	0		F.Forj.Superior	0		F.Forj.Superior	0	
F.Forj.intermedio	0		F.Forj.intermedio	0		F.Forj.intermedio	0		F.Forj.intermedio	0		F.Forj.intermedio	0		F.Forj.intermedio	0		F.Forj.intermedio	0		F.Forj.intermedio	0	
F.Forj.Inferior	0		F.Forj.Inferior	0		F.Forj.Inferior	0		F.Forj.Inferior	0		F.Forj.Inferior	0		F.Forj.Inferior	0		F.Forj.Inferior	0		F.Forj.Inferior	0	
Uopac	Uvent	F.Solar	Uopac	Uvent	F.Solar	Uopac	Uvent	F.Solar	Uopac	Uvent	F.Solar	Uopac	Uvent	F.Solar	Uopac	Uvent	F.Solar	Uopac	Uvent	F.Solar	Uopac	Uvent	F.Solar
0,63	2,40	0,75	0,76	3,30	0,75	0,63	2,40	0,75	0,63	2,40	0,75	0,63	2,40	0,75	0,79	3,40	0,75	0,47	3,30	0,75	0,72	2,90	0,75
Puentes Térmicos Ψ			Puentes Térmicos Ψ			Puentes Térmicos Ψ			Puentes Térmicos Ψ			Puentes Térmicos Ψ			Puentes Térmicos Ψ			Puentes Térmicos Ψ					
Sup.	Inter	Inf	Sup.	Inter	Inf	Sup.	Inter	Inf	Sup.	Inter	Inf	Sup.	Inter	Inf	Sup.	Inter	Inf	Sup.	Inter	Inf	Sup.	Inter	Inf
0,55	0,85	0,15	0,57	0,85	0,14	0,61	0,85	0,13	0,59	0,81	0,15	0,61	0,85	0,15	0,55	0,88	0,15						

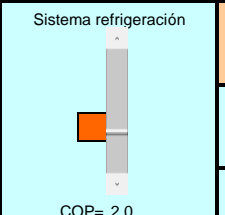
RENDIMIENTO MEDIO ESTACIONAL

Sistema calefacción



η = 2,4

Sistema refrigeración



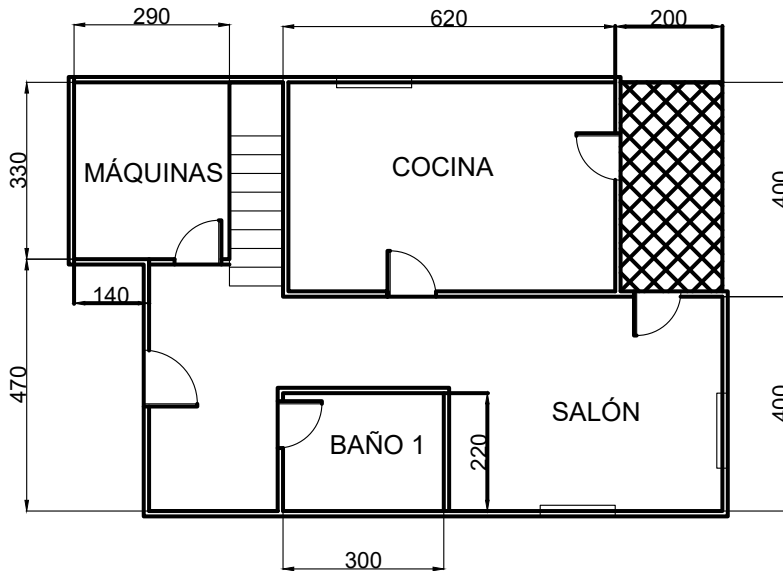
COP = 2,0

ENERGIA FINAL		COMBUSTIBLE		ESTIMACION EMISIONES CO2	
Calefacción kWh/año	18287	Calef.	Gas natural	CALEFACCION	11.868 Kg/Año
Refrigeración kWh/año	0	Refrig.	Gasoleo-C	REFRIGERACION	0 Kg/Año
TOTAL kWh/año	18287		GLP	TOTAL	11.868 Kg/Año
			Carbon		
			Biomasa		
			Biofuel		
			Electricidad (peninsula)		
			Electricidad (extrapeninsula)		

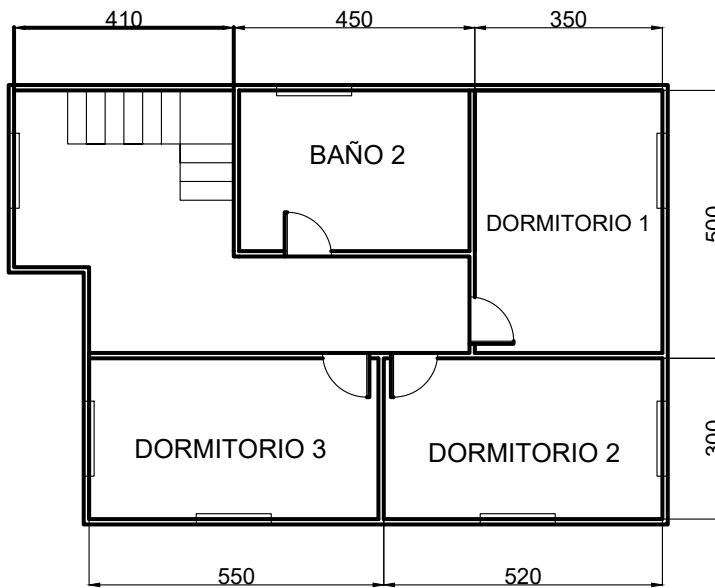
(c)Josep Sole

Planos

PLANTA BAJA



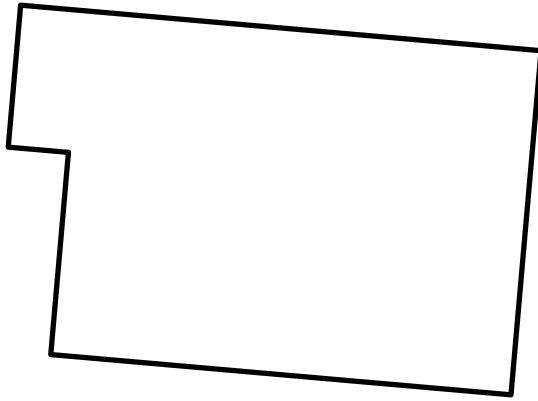
PRIMERA PLANTA



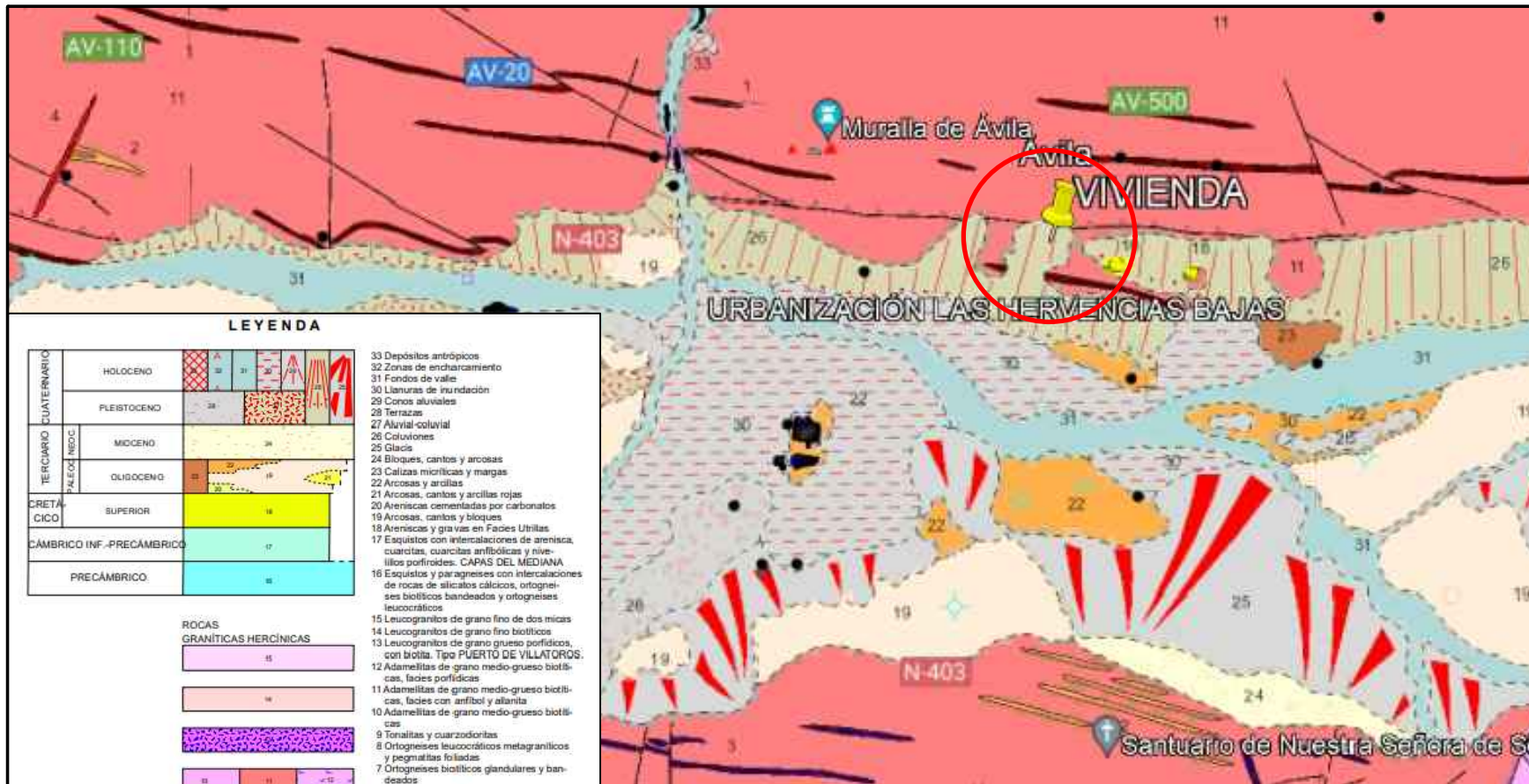
NOTA: Unidades en cm

UNIVERSIDAD DE LEÓN ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIAL, INFORMÁTICA Y AEROSPACIAL		Proyecto: DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UNA INSTALACIÓN GEOTÉRMICA DE BAJA ENTALPÍA Y COMPARATIVA CON OTRAS ENERGÉTICAS	
Plano: VIVIENDA	Escala: 1:50	Fecha: JULIO 2023	nº plano: 1
Alumno: ALBA RODRÍGUEZ PÉREZ		TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA	

C. Bélgica



UNIVERSIDAD DE LEÓN ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIAL, INFORMÁTICA Y AEROSPAIAL		Proyecto: DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UNA INSTALACIÓN GEOTÉRMICA DE BAJA ENTALPÍA Y COMPARATIVA CON OTRAS ENERGÉTICAS		
Plano:	LOCALIZACIÓN	Escala:	Fecha:	nº plano:
Alumno:		1:100	JULIO 2023	2
ALBA RODRÍGUEZ PÉREZ		TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA		



LEYENDA

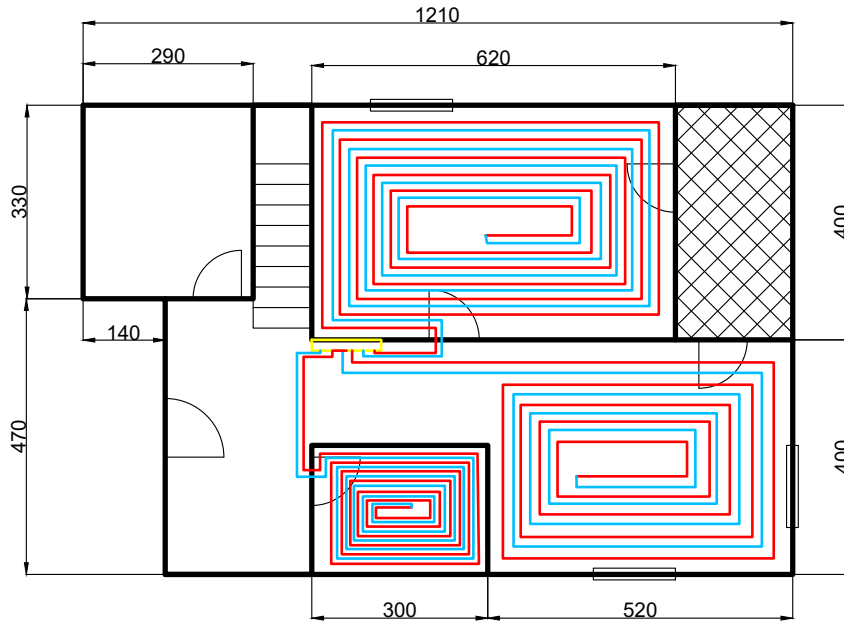
CUATERNARIO	HOLOCENO	33, 32, 31
	PLEISTOCENO	30, 29, 28
TERCIARIO PALEOCENO	MIOCENO	27, 26, 25
	OLIGOCENO	24, 23, 22, 21, 20, 19
CRETACICO	SUPERIOR	18, 17
CAMBRICO INF.-PRECAMBRICO		16, 15, 14, 13, 12, 11, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1

- ROCAS GRANITICAS HERCINICAS**
- 15
 - 14
- ROCAS IGNEAS PREHERCINICAS**
- 13
 - 12
 - 11
 - 10
 - 9
 - 8
 - 7
 - 6
 - 5
 - 4
 - 3
 - 2
 - 1
- ROCAS FILONIANAS**

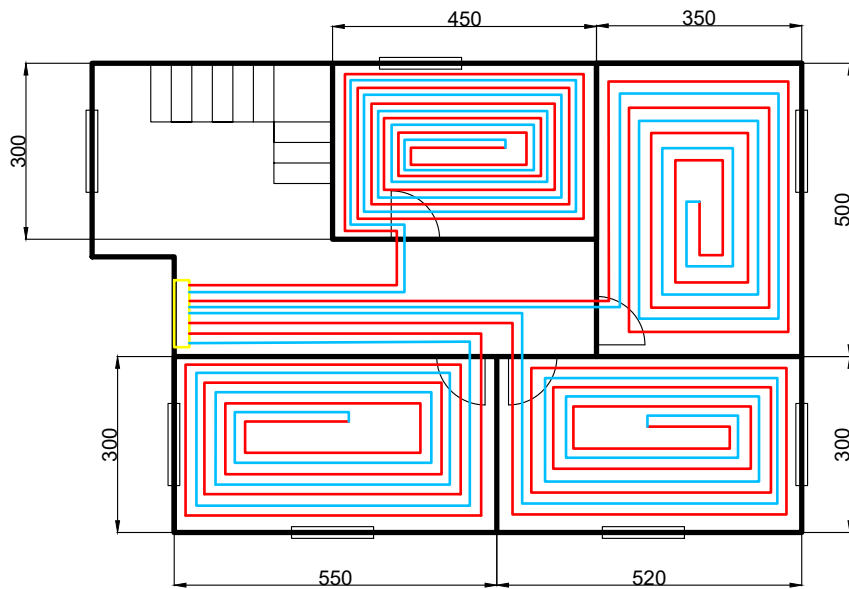
- 33 Depósitos antrópicos
- 32 Zonas de encharcamiento
- 31 Fondos de valle
- 30 Llanuras de inundación
- 29 Conos aluviales
- 28 Terrazas
- 27 Aluvial-coluvial
- 26 Coluviones
- 25 Glacis
- 24 Bloques, cantos y arcosas
- 23 Calizas micríticas y margas
- 22 Arcosas y arcillas
- 21 Arcosas, cantos y arcillas rojas
- 20 Areniscas cementadas por carbonatos
- 19 Arcosas, cantos y bloques
- 18 Areniscas y gravas en Facies Utrillas
- 17 Esquistos con intercalaciones de arenisca, cuarcitas, cuarcitas anfíbolicas y niveles porfirídeos. CAPAS DEL MEDIANA
- 16 Esquistos y paragneises con intercalaciones de rocas de silicatos cálcicos, ortogneises biotíticos bandeados y ortogneises leucocráticos
- 15 Leucogranitos de grano fino de dos micas
- 14 Leucogranitos de grano fino biotíticos
- 13 Leucogranitos de grano grueso porfirídicos, con biotita. Tipo PUERTO DE VILLATOROS.
- 12 Adamellititas de grano medio-grueso biotíticas, facies porfirídicas
- 11 Adamellititas de grano medio-grueso biotíticas, facies con anfíbol y albita
- 10 Adamellititas de grano medio-grueso biotíticas
- 9 Tonalitas y cuarzodioritas
- 8 Ortogneises leucocráticos metagraníticos y pegmatitas foliadas
- 7 Ortogneises biotíticos glandulares y bandeados
- 6 Diques de tendencia lamprofídica
- 5 Diques de tendencia sienítica
- 4 Cuarzo
- 3 Microdioritas
- 2 Leucogranitos de grano fino y apatitas
- 1 Porfíridos granítico-adamellitíticos

UNIVERSIDAD DE LEÓN		Proyecto:	
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIAL, INFORMÁTICA Y AEROSPAIAL		DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UNA INSTALACIÓN GEOTÉRMICA DE BAJA ENTALPIA Y COMPARATIVA CON OTRAS ENERGÉTICAS	
Plano:	SITUACIÓN GEOLÓGICA	Escala:	Fecha:
Alumno:		1:100	JULIO 2023
ALBA RODRÍGUEZ PÉREZ		TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA	nº plano: 3

PLANTA BAJA



PRIMERA PLANTA



NOTA: Unidades en cm

UNIVERSIDAD DE LEÓN ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIAL, INFORMÁTICA Y AEROSPAZIAL		Proyecto: DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UNA INSTALACIÓN GEOTÉRMICA DE BAJA ENTALPÍA Y COMPARATIVA CON OTRAS ENERGÉTICAS	
Plano: SUELO RADIANTE	Escala: 1:50	Fecha: JULIO 2023	nº plano: 4
Alumno: ALBA RODRÍGUEZ PÉREZ		TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA	

Pliego de prescripciones técnicas

1. Objeto

El objeto de este pliego es definir las condiciones establecidas para la correcta ejecución de las obras de la instalación de energía geotérmica necesaria para la climatización de la vivienda unifamiliar situada en Ávila que se ha descrito en el presente proyecto.

Se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) La ejecución de las perforaciones se realizará sin afectar a las instalaciones de urbanización ya existentes.
- b) Todas las instalaciones deberán cumplir con las normas vigentes.
- c) La empresa encargada deberá entregar toda la documentación relativa al proyecto.

1.1 Normativa y Disposiciones Aplicables

Serán de aplicación y obligado cumplimiento las siguientes Disposiciones, Normas y Reglamentos, cuyas prescripciones, en cuanto puedan afectar a las características e instalaciones del edificio, quedan incorporadas formando parte integrante del Pliego.

- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.
- Real Decreto 376/2022, de 17 de mayo, por el que se regulan los criterios de sostenibilidad y de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de los biocarburantes, biolíquidos y combustibles de biomasa, así como el sistema de garantías de origen de los gases renovables.
- Real Decreto 863/1985, de 2 de abril, por el que se aprueba el Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera.
- Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- Real Decreto 178/2021, de 23 de marzo, por el que se modifica el Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (R.I.T.E).
- Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación.
- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.
- Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los títulos preliminar I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas.

- Reglamento electrotécnico de Baja Tensión. Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión.

1.2 Orden de preferencia para la aplicación de condiciones.

Para la aplicación y cumplimiento de las Condiciones de este Pliego, así como para la interpretación de errores, contradicciones u omisiones contenidas en el mismo, se seguirá tanto por parte de la Contrata adjudicataria como por la de la Dirección Técnica de las Obras el siguiente orden de preferencia:

Leyes, Decretos, Órdenes Ministeriales, Reglamentos, Normas y Pliegos de Condiciones diversos por el orden de mayor a menor rango legal de las disposiciones que hayan servido para su aplicación.

En el caso de contradicción entre los Planos y el Pliego de Condiciones Técnicas Particulares, prevalecerá lo prescrito en este último. En todo caso, ambos documentos prevalecerán sobre el Pliego de prescripciones técnicas Generales. Respecto a lo referido en el Pliego de prescripciones técnicas Particulares y omitido en los Planos, o viceversa, habrá de ser ejecutado como si estuviese expuesto en ambos documentos, siempre que, a juicio del Director facultativo, quede suficientemente definida la unidad de obra correspondiente, y esta tenga precio en el Contrato. Así mismo, las contradicciones que pudieran existir entre lo señalado en el Pliego de prescripciones Técnicas y las especificaciones de los cuadros de Precios serán resueltas a juicio de la Dirección Facultativa.

1.3 Protección del medio ambiente.

Se establece la obligación de cumplir con todas las normativas ambientales aplicables durante la ejecución del proyecto de instalación geotérmica. Esto incluye la correcta gestión de residuos, el cumplimiento de los límites de emisiones y la protección de recursos naturales. Para ello se solicita realizar una evaluación del impacto ambiental del proyecto de instalación geotérmica, identificando posibles impactos negativos en el entorno y proponiendo medidas de mitigación para minimizarlos. En particular, se evitará la contaminación atmosférica por la emisión de polvo.

Se establece la preferencia por el uso de fluidos geotérmicos que sean biodegradables, no tóxicos y que no generen impactos negativos en los ecosistemas acuáticos y terrestres.

Se exige la adopción de medidas para minimizar el ruido y las vibraciones generadas durante la fase de perforación y la operación del sistema geotérmico, garantizando el cumplimiento de los límites establecidos por la normativa ambiental vigente. La

contaminación acústica se mantendrá dentro de los límites de intensidad tales que no resulten nocivos para las personas ajenas a la obra ni para las personas afectas a las mismas.

Todos los gastos que originen dichas medidas serán a cargo del Contratista, por lo que no será de abono directo.

1.4 Inspección.

Se requiere llevar un registro detallado de todas las pruebas, mediciones y comprobaciones realizadas durante la instalación y puesta en marcha del sistema geotérmico. Estos registros deben estar disponibles para su inspección y verificar el cumplimiento de los estándares y requisitos especificados en el pliego, permitiendo en todo momento el libre acceso a todas las partes de la misma.

2. Descripción de las obras.

2.1 Obras que comprende.

Las obras del proyecto comprenden las siguientes partes:

- Desbroce del terreno y zanjado inicial para realizar el sondeo.
- Realización del sondeo.
- Introducción de sonda geotérmica.
- Relleno del sondeo.
- Realización de zanjas para conexiones sondeos-colector y colector-sala de máquinas.
- Instalación y prueba circuito hidráulico exterior sondeos-colector.
- Instalación bomba de calor en sala de máquinas.
- Instalación colector-sala de máquinas.
- Limpieza, purga y llenado del circuito completo.
- Distribución de suelo radiante.
- Instalación sala de máquinas-suelo radiante.
- Puesta en marcha de la instalación.
- Ajuste inicial final.

- Supervisión y ajustes finales a lo largo del primer año.

2.2 Materiales.

Se exige que todos los materiales utilizados en la instalación geotérmica cumplan con los estándares de calidad apropiados. Esto implica seleccionar materiales duraderos, resistentes, seguros y adecuados para su aplicación específica en el sistema geotérmico. Dichos materiales deben estar respaldados por certificaciones y cumplimiento de normativas y regulaciones aplicables. Esto incluye certificados de calidad, marcados CE u otros estándares reconocidos que garanticen el rendimiento y la seguridad de los materiales.

Los materiales que hayan de emplearse en obra sin estar especificados en este pliego, no podrán ser empleados sin haber sido reconocidos por el Director Facultativo de las obras, quien podrá admitirlos o rechazarlos, según reúnan o no las condiciones que a su juicio sean elegibles y sin que el adjudicatario de las obras tenga derecho a reclamación alguna.

2.3 Sondeos.

Teniendo en cuenta las características del terreno, se realizará una perforación mediante martillo neumático en fondo de las dimensiones establecidas.

El eje del sondeo será vertical en toda su profundidad y su anchura suficiente para que la sonda geotérmica que se requiere se pueda colocar de forma precisa.

3. Obras defectuosas y tolerancias.

Cuando la obra realizada no reúna las condiciones prescritas en este Pliego o cuando se reconozca o compruebe por la Dirección Técnica de las Obras que su ejecución no responde a la exigida para su objetivo, se dará, por dicha Dirección al Contratista la orden para que, a costa de este, la modifique, rectificando su ejecución o reconstruyéndose hasta que satisfaga las condiciones o cubra cumplidamente el objeto a que se destine.

Así mismo si la obra fuera defectuosa pero aceptable, a juicio de la Administración, se recibirá, pero con rebaja de precio fijada contradictoriamente, a no ser que el Contratista prefiera sustituirla por otra obra que reúna las condiciones debidas.

4. Acceso a las obras.

Se establece que el contratista debe garantizar un acceso adecuado y seguro al lugar de la obra. Esto incluye la preparación y mantenimiento de caminos de acceso, pasillos y zonas de trabajo para permitir el ingreso de equipos, vehículos y personal de manera eficiente y segura.

5. Medición y abono de las obras.

Se definen como unidades de obra aquellas partes de la ejecución de la obra que son capaces de ser valoradas ajustándose a las definiciones dadas en el presupuesto.

Las partidas alzadas a justificar incluidas en el presupuesto, se justificarán una vez se hayan ejecutado los trabajos necesarios.

Hasta que tenga lugar la recepción, el Contratista responderá de la ejecución de la obra contratada y de las faltas que en ella hubiere, sin que sea eximente ni de derecho alguno la circunstancia de que el Director de las obras haya examinado o reconocido, durante su construcción, las partes y unidades de la obra o los materiales empleados, ni que hayan sido incluidos éstos y aquellas en las mediciones y certificados parciales.

Serán de cuenta del Contratista los gastos de cualquier clase ocasionados con motivo de la práctica del replanteo general, o de su comprobación, y de los replanteos parciales; los de construcción, desmontaje y retirada de las construcciones auxiliares para oficinas, almacenes, cobertizos y caminos de servicios; los de protección de materiales y de la propia obra contra todo deterioro, daño o incendio, cumpliendo los reglamentos vigentes para el almacenamiento de explosivos y evacuación de desperdicios y basura; los de construcción, conservación y retirada de pasos y caminos provisionales, alcantarillas, señales de tráfico y demás recursos necesarios y para proporcionar seguridad y facilitar el tránsito dentro de las obras; los derivados de dejar tránsito a peatones y carruajes durante la ejecución de las obras; los de desviación de alcantarillas, tuberías, cables eléctricos y, en general, de cualquier instalación que sea necesaria modificar; los de construcción, de conservación, limpieza y retirada de las instalaciones sanitarias provisionales y de limpieza de los lugares ocupados por las mismas; los de retirada a la terminación de la obra, de instalaciones, herramientas, materiales, etc. y los de limpieza general de la obra.

Así mismo serán de cuenta de la Contrata los gastos ocasionados por averías o desperfectos producidos con motivo de las obras, en vallas, muros y obras de fábrica en general.

Será de cuenta del Contratista el montaje, conservación y retirada de las instalaciones para el suministro del agua y de la energía eléctrica necesaria para las obras, así como la adquisición de dicho agua y energía.

Serán de cuenta del Contratista los gastos ocasionados por la retirada de las obras de los materiales rechazados; los de jornales y materiales empleados en las mediciones periódicas necesarias para la redacción de certificaciones y los ocasionados por la medición final, la

corrección de las deficiencias observadas en las pruebas, ensayos, etc. antes citadas y los gastos derivados de los asientos o averías, accidentes o daños que se produzcan en dichas pruebas y procedan de la mala construcción o falta de precaución, así como los de reparación y conservación de las obras durante el plazo de garantía.

Será de cuenta del Contratista indemnizar a los propietarios de los derechos que les correspondan y todos los daños que se causen con la perturbación del tráfico en las vías públicas y la interrupción de servicios públicos o particulares, con las aperturas de zanjas en vías públicas, la explotación de canteras, la extracción de tierras para la ejecución de los terraplenes, el establecimiento de almacenes, y depósitos; los que se originen con la habilitación de caminos y vías provisionales para el transporte de aquellas o con la apertura y desviación de cauces y, finalmente, los que exijan las demás operaciones que requieran la ejecución de las obras.

6. Disposiciones generales.

6.1 Iniciación de las obras.

De acuerdo con lo indicado en los Artículos 139,140 y 141 del Reglamento General de la Ley de Contratos con las Administraciones Públicas RD 1098/2001 de 12 de octubre, se aplicarán las siguientes disposiciones:

- Dentro del plazo que se consigne en el contrato de Obras, el Director procederá, en presencia del Contratista, a efectuar la comprobación del replanteo, extendiéndose acta del resultado que será firmada por las dos partes interesadas.
- Cuando del resultado de la comprobación del replanteo se deduzca la viabilidad del proyecto, a juicio del Director de las obras, y sin reserva por parte del Contratista, se dará por aquel la autorización para iniciarlas, haciéndose constar este extremo explícitamente en el acta extendida, de cuya autorización quedará notificado el Contratista por el hecho de suscribirla, y empezándose a contar el plazo de ejecución de las obras desde el día siguiente al de la firma del acta.
- En caso contrario, cuando la Dirección de obra entienda necesaria la modificación total o parcial de las obras proyectadas o el Contratista haga reservas, se hará constar en el acta la suspensión del inicio de las obras, total o parcialmente, hasta que la Administración dicte la resolución oportuna. En tanto sea dictada esta resolución, y salvo el caso en que resulten infundadas las reservas del Contratista, las obras se considerarían suspendidas temporalmente desde el día siguiente a la firma del acta.
- El acuerdo de autorizar el comienzo de las obras, una vez superadas las causas que lo impidieron, requiere un acto formal con debida notificación al Contratista, dando

origen al cómputo del plazo de ejecución desde el día siguiente al que tenga lugar la misma.

6.2 Vallado, señalización y entorno de la obra.

Se exige el uso de señales de tráfico, vallas de seguridad, luces de advertencia y cualquier otro dispositivo necesario para prevenir accidentes y garantizar la seguridad de los trabajadores y visitantes.

Asimismo, en el caso de que la ejecución de las obras exija la inutilización o afección parcial o total de alguna vía o conducción pública o privada, el Contratista dispondrá los pasos provisionales necesarios con elementos de suficiente seguridad, para deducir al mínimo las molestias a los viandantes y tráfico rodado o en el caso de que se trate de conducciones, protegerlas a fin de no perturbar al servicio que hayan de prestar, todo ello de acuerdo con la forma y en los lugares que determine el Director Técnico de las Obras.

En todo momento se deben tomar medidas para proteger el entorno natural y urbano durante la ejecución de la obra. Esto puede incluir la protección de árboles y vegetación existentes, la implementación de barreras de contención de polvo y escombros, y la minimización de ruidos y molestias para los residentes cercanos.

Las responsabilidades que pudieran derivarse de accidentes y perturbaciones de servicios ocurridos por incumplimiento de las precedentes prescripciones, serán de cuenta y cargo del Contratista.

6.3 Plazo de ejecución.

El plazo de ejecución de las obras correspondientes al presente Proyecto, será el que fije en el Contrato, considerándose recomendable un plazo de un mes.

6.4 Incumplimiento de los plazos, de ejecución.

De acuerdo con lo especificado en la legislación vigente, si el Contratista, por causas imputables al mismo, hubiera incurrido en demora respecto de los plazos parciales, de manera que haga presumir racionalmente la imposibilidad de cumplimiento del plazo final o este hubiera quedado incumplido, la Administración podrá optar, según el caso, por la resolución del Contrato con pérdidas de fianza o por la imposición de penalizaciones. La Constitución en mora del Contratista, no requerirá interpelación o intimación previa por parte de la Administración.

Cuando en el supuesto anterior de incumplimiento de los plazos de ejecución por causas imputables al Contratista y conforme al artículo 95 de la Ley de Contratos con las Administraciones Públicas, la Administración opte por la imposición de penalizaciones,

estas se graduarán en atención al presupuesto total o parcial de las obras, según que el plazo incumplido sea parcial o total, y con arreglo a la escala de penalizaciones que señala el Artículo indicado de la citada Ley.

Estas penalizaciones se harán efectivas por el Contratista mediante deducción, por las correspondientes cantidades, en las certificaciones de obras que se produzcan. En cualquier caso, la fianza respondería a la efectividad de estas penalizaciones.

6.5 Resolución del contrato.

Se aplicará lo dispuesto en los artículos 149, 150 y 151 de la Ley de Contratos con las Administraciones Públicas.

6.6 Obras terminadas y obras incompletas.

Se entenderá por obras terminadas, aquellas que se encuentren en buen estado y con arreglo a las prescripciones previstas.

De acuerdo con lo señalado en el Artículo 147 de la Ley de Contratos con las Administraciones Públicas RD 1098/2001 de 12 de octubre, cuando las obras no se hallen en estado de ser recibidas, se hará constar así en el acta, y se darán las instrucciones precisas y detalladas por el Facultativo al Contratista, con el fin de remediar los defectos observados, fijándose un plazo para efectuarlos y expirado el cual se hará nuevo reconocimiento para recepción de las obras. Después de este nuevo plazo y si persistieran los defectos señalados, la Administración podrá optar por la concesión de un nuevo plazo o por la resolución del contrato con pérdida de la fianza depositada por el Contratista.

6.7 Recepción de las obras.

Para que la recepción pueda realizarse deben cumplirse las siguientes condiciones:

1. Obrar en poder del Director de la obra los siguientes documentos:
 - a) Proyecto final que recoja la situación real de las obras e instalaciones con todas las posibles modificaciones introducidas durante el Proyecto y ejecución de la obra.
 - b) Copia de todas las órdenes de pedido del Contratista a sus suministradores.
2. Resultado satisfactorio de las pruebas realizadas.
3. Cumplimiento de todas las obligaciones contenidas en el Contrato.

Cuando por cualquier causa imputable al Contratista no procediera efectuar la Recepción, la Dirección de las obras suspenderá esta y señalará un plazo prudencial para obviar el obstáculo, en el caso de que los problemas presentados puedan tener una solución aceptablemente sencilla en un plazo razonablemente corto. Si el obstáculo fuera

grave o de trascendencia, lo pondrá en conocimiento de la Administración para la determinación que proceda, cuyo cumplimiento será obligatorio para el Contratista.

Puede procederse a la recepción aun cuando queden sin resolver algunos puntos de menor importancia para el funcionamiento de la instalación, siempre que se detallen en el acta de Recepción. Asimismo, los puntos en los que pueda existir una duda razonable sobre su idoneidad deberán incluirse en el acta de recepción para su observación durante el periodo de garantía.

Las pruebas a realizar durante el periodo de garantía deberán definirse igualmente en el acta de recepción.

Por consiguiente, el acta de recepción contendrá en el caso general los siguientes documentos:

- Relación de puntos de menor importancia pendientes de resolver si da lugar.
- Relación de los puntos que deben de ser observados especialmente durante el periodo de garantía.
- Programa de pruebas de rendimiento a realizar durante el periodo de garantía.

Con posterioridad a la Recepción de las obras y en el plazo reglamentario se procederá a la medición final de las obras y a la emisión de la correspondiente certificación, de acuerdo con lo señalado en el Artículo 166 del Reglamento General de la Ley de Contratos con las Administraciones Públicas, RD I 1098/2001 de 12 de octubre.

6.8 Periodo de garantía.

Inmediatamente después de la Recepción, se iniciará el Periodo de Garantía, con una duración mínima de un año y máximo de todo el necesario para el cumplimiento de los compromisos establecidos en el Contrato.

6.9 Defectos aparecidos durante el periodo de garantía.

Si antes de terminar el plazo de garantía, algún elemento fallara más de dos veces, la Dirección de obra podrá obligar al Contratista a sustituir dicho elemento y los idénticos a el que trabajen en condiciones análogas, por otros de entre los existentes en el mercado que a su juicio sean adecuados, o imponer una garantía especial sobre ese elemento en la conclusión del contrato.

6.10 Terminación del contrato.

Una vez finalizado el plazo de garantía, se procederá a la terminación del contrato.

6.11 Liquidación.

Transcurrido el plazo de garantía, y previo informe del Director de las obras, se procederá a redactar la liquidación de acuerdo con lo señalado en el Artículo 169 del Reglamento General de la Ley de Contratos con las Administraciones públicas RD 1098/2001 de 12 de octubre.

Una vez aprobada la liquidación, el Director de las obras, expedirá certificación de la misma si el saldo es favorable al Contratista.

Si fuese favorable a la Administración, ésta requerirá al Contratista para que proceda al reintegro del exceso percibido y en tanto aquel no lo hiciese así no podrá procederse a la devolución de la fianza definitiva.

7. Condiciones particulares, desglose de actividades.

7.1 Terreno

UNIDAD DE OBRA: DESBROCE Y LIMPIEZA DEL TERRENO CON ARBUSTOS.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

El desbroce implica la eliminación de arbustos no deseados y demás vegetación asociada. Se emplearán medios mecánicos para eliminar cualquier material no deseado hasta una profundidad superior al espesor de la capa de tierra vegetal. Se incluye el transporte de la maquinaria y la retirada de los residuos.

NORMATIVA DE APLICACIÓN

Orden de 29 de diciembre de 1976 por la que se aprueba la norma tecnológica NTE-ADZ/1976, «Acondicionamiento del terreno. Desmontes: Zanjas y pozos».

CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA

DEL SOPORTE

Inspección ocular del terreno. Se comprobará la posible existencia de servidumbres, elementos enterrados, redes de servicio o cualquier tipo de instalaciones que puedan resultar afectadas por las obras a iniciar.

DEL CONTRATISTA

Si existieran instalaciones en servicio que pudieran verse afectadas por los trabajos a realizar, solicitará de las correspondientes compañías suministradoras su situación y, en su caso, la solución a adoptar, así como las distancias de seguridad a tendidos aéreos de conducción de energía eléctrica.

PROCESO DE EJECUCIÓN

FASES DE EJECUCIÓN

Replanteo en el terreno. Corte de arbustos. Remoción mecánica de los materiales de desbroce. Retirada y disposición mecánica de los materiales objeto de desbroce. Carga mecánica a camión.

CONDICIONES DE TERMINACIÓN

La superficie del terreno quedará limpia y en condiciones adecuadas para poder realizar el replanteo definitivo de la obra.

CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO

Se medirá, en proyección horizontal, la superficie realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto, sin incluir los incrementos por excesos de excavación no autorizados.

UNIDAD DE OBRA: EXCAVACIÓN DE ZANJAS.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Excavación de zanjas a cielo abierto mediante medios mecánicos para instalaciones hasta una profundidad de 2m en cualquier tipo de terreno. Se incluye el transporte de la maquinaria, refinado de paramentos y fondo de excavación, extracción de tierras fuera de la excavación, retirada de los materiales excavados y carga a camión.

NORMATIVA DE APLICACIÓN

Orden de 29 de diciembre de 1976 por la que se aprueba la norma tecnológica NTE-ADZ/1976, «Acondicionamiento del terreno. Desmontes: Zanjas y pozos».

CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA

DEL SOPORTE.

Se comprobará la posible existencia de servidumbres, elementos enterrados, redes de servicio o cualquier tipo de instalaciones que puedan resultar afectadas por las obras a iniciar. Se dispondrá de la información topográfica y geotécnica necesaria, recogida en el correspondiente estudio geotécnico del terreno realizado por un laboratorio acreditado en el área técnica correspondiente, y que incluirá, entre otros datos: tipo, humedad y compacidad, consistencia y propiedades térmicas del terreno. Se dispondrán puntos fijos de referencia en lugares que puedan verse afectados por la excavación, a los cuales se referirán todas las lecturas de cotas de nivel y desplazamientos horizontales y verticales de los puntos del terreno. Se comprobará el estado de conservación de los edificios medianeros y de las construcciones próximas que puedan verse afectadas por las excavaciones.

DEL CONTRATISTA.

Si existieran instalaciones en servicio que pudieran verse afectadas por los trabajos a realizar, solicitará de las correspondientes compañías suministradoras su situación y, en su caso, la solución a adoptar, así como las distancias de seguridad a tendidos aéreos de conducción de energía eléctrica. Notificará al director de la ejecución de la obra, con la antelación suficiente, el comienzo de las excavaciones. En caso de realizarse cualquier tipo de entibación del terreno, presentará al director de la ejecución de la obra, para su aprobación, los cálculos justificativos de la solución a adoptar.

PROCESO DE EJECUCIÓN

FASES DE EJECUCIÓN.

Replanteo general y fijación de los puntos y niveles de referencia. Colocación de las camillas en las esquinas y extremos de las alineaciones. Excavación en sucesivas franjas horizontales y extracción de tierras. Refinado de fondos con extracción de las tierras. Carga a camión de las tierras excavadas.

CONDICIONES DE TERMINACIÓN.

El fondo de la excavación quedará nivelado, limpio y ligeramente apisonado.

CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO.

Las excavaciones quedarán protegidas frente a filtraciones y acciones de erosión o desmoronamiento por parte de las aguas de escorrentía. Se tomarán las medidas oportunas para asegurar que sus características geométricas permanecen inamovibles. Mientras se efectúe la consolidación definitiva de las paredes y fondo de las excavaciones se conservarán las entibaciones realizadas, que sólo podrán quitarse, total o parcialmente, previa comprobación del director de la ejecución de la obra, y en la forma y plazos que éste dictamine. Se tomarán las medidas necesarias para impedir la degradación del fondo de la excavación frente a la acción de las lluvias u otros agentes meteorológicos, en el intervalo

de tiempo que medie entre la excavación y la finalización de los trabajos de colocación de instalaciones y posterior relleno de las zanjas.

CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO

Se medirá el volumen teórico ejecutado según especificaciones de Proyecto, sin incluir los incrementos por excesos de excavación no autorizados, ni el relleno necesario para reconstruir la sección teórica por defectos imputables al Contratista. Se medirá la excavación una vez realizada y antes de que sobre ella se efectúe ningún tipo de relleno. Si el Contratista cerrase la excavación antes de conformada la medición, se entenderá que se aviene a lo que unilateralmente determine el director de la ejecución de la obra.

7.2 Perforación.

UNIDAD DE OBRA: SONDEO GEOTÉRMICO.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Perforación del terreno con máquina dotada de doble cabezal, para la realización de 1 sondeo de 100 m de profundidad y diámetro entre 110 y 130 mm, con entubación recuperable en terrenos inestables, extracción del varillaje y de la herramienta de perforación, introducción de la sonda geotérmica acompañada del tubo de inyección y las pesas necesarias para el lastrado de la sonda mediante utilización de guía mecánica para desenrollar la sonda, inyección del mortero y extracción de la tubería recuperable.. Instalación totalmente montada, conexiónada y probada por la empresa instaladora mediante las correspondientes pruebas de servicio, de presión y circulación.

CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA

DEL CONTRATISTA.

Presentará prueba documental de la capacidad técnica de la empresa ejecutora.

FASES DE EJECUCIÓN.

Perforación del terreno. Extracción del varillaje de perforación. Introducción de la sonda con el tubo de inyección. Inyección del mortero geotérmico. Extracción de la tubería de revestimiento. Realización de las pruebas de servicio.

CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO

Se medirá la longitud total de la sonda geotérmica introducida verticalmente en el terreno.

UNIDAD DE OBRA: TRANSPORTE Y RETIRADA DE EQUIPO COMPLETO PARA SONDEO GEOTÉRMICO.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Transporte, puesta en obra y retirada de equipo completo para la perforación, inyección y colocación de sondas geotérmicas formado por: equipo de perforación, compresor, bomba de agua (lodos), equipo de inyección, equipo para movimiento de material en obra, varillaje, entubación recuperable, mangueras, herramientas de perforación y de introducción de las sondas, y demás equipos auxiliares. El precio incluye el desplazamiento a la obra del personal especializado.

CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA

DEL SOPORTE.

Se comprobará que el acceso a la obra es el adecuado y se dispone de la correspondiente plataforma de trabajo.

PROCESO DE EJECUCIÓN

FASES DE EJECUCIÓN.

Transporte a la obra. Montaje del equipo. Desmontaje del equipo. Retirada del equipo.

CONDICIONES DE TERMINACIÓN.

Completa retirada del equipo utilizado.

CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO

Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.

7.3 Material y montaje.

UNIDAD DE OBRA: SONDA GEOTÉRMICA VERTICAL.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Suministro de sonda geotérmica doble U (4 tubos) para instalación vertical, de 100 m de longitud y 96 mm de diámetro, formada por un tubo de polietileno reticulado (RAU-PE-Xa) de 32 mm de diámetro y 3 mm de espesor, RAUGEO PE-Xa green, con un revestimiento RAU-PE color verde, tubo de inyección, conjunto de dos piezas en Y, distanciadores para tubos y mortero preparado de bentonita y cemento. Certificado de prueba de estanqueidad-presión en fábrica.

CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO

Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.

CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA

DEL CONTRATISTA.

Presentará prueba documental de la capacidad técnica de la empresa ejecutora.

CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO

Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.

UNIDAD DE OBRA: ARQUETA PREFABRICADA CON COLECTOR.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Suministro y colocación de arqueta para la conexión de sondas geotérmicas, de polietileno (PE), dimensiones exteriores 660x460x500 mm, con tapa, conexiones de 63 mm de diámetro y 5,8 mm de espesor con la bomba de calor geotérmica y de 32 mm de diámetro y 3 mm de espesor con las sondas geotérmicas, para un circuito, de 17,3 kg, con colector formado por módulo de impulsión y módulo de retorno, de 40 mm de diámetro, con caudalímetro para cada circuito, llave de corte en cada módulo y purgador de aire, sobre solera de hormigón en masa HM-20/B/20/I de 15 cm de espesor. Incluso excavación mecánica y relleno del trasdós con material granular, conexiones de conducciones y remates. Totalmente montada, conexionada y probada por la empresa instaladora mediante las correspondientes pruebas de servicio.

CRITERIO DE MEDICIÓN EN PROYECTO

Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.

FASES DE EJECUCIÓN.

Replanteo de la arqueta. Excavación con medios mecánicos. Eliminación de las tierras sueltas del fondo de la excavación. Vertido y compactación del hormigón en formación de solera. Colocación de la arqueta prefabricada. Conexión de todos los circuitos. Realización de pruebas de servicio. Colocación de la tapa. Relleno del trasdós. Carga de escombros sobre camión o contenedor.

CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO.

Se protegerá frente a golpes y obturaciones.

CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO

Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.

7.4 Bomba de calor

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Instalación de bomba de calor geotérmica modelo geoTHERM VWS 00 2023 1523 de Vaillant para sistema de pozo cerrado, clase de eficiencia energética A++, potencia calorífica 16,1 kW, COP (coeficiente energético nominal) 4,7. Dimensiones 1183x595x600 mm. Depósito de A.C.S de 180l. Bombas de circulación de alta eficiencia en el circuito primario y en el circuito de calefacción, válvula de 3 vías para producción de A.C.S., grupos de seguridad en el circuito primario, en el circuito de calefacción y en el circuito para producción de A.C.S. Totalmente montada, conexión y puesta en marcha por la empresa instaladora para la comprobación de su correcto funcionamiento.

NORMATIVA DE APLICACIÓN

Real Decreto 178/2021, de 23 de marzo, por el que se modifica el Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.

CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA

DEL CONTRATISTA.

Presentará prueba documental de la capacidad técnica de la empresa ejecutora.

PROCESO DE EJECUCIÓN

FASES DE EJECUCIÓN.

Transporte a la obra. Instalación del equipo.

CONDICIONES DE TERMINACIÓN.

Correcto funcionamiento del equipo instalado.

CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO.

Se establece la necesidad de realizar inspecciones periódicas de la bomba de calor, siguiendo las recomendaciones del fabricante. Estas inspecciones pueden incluir la revisión de conexiones, tuberías, filtros, componentes eléctricos y sistemas de control. Limpieza y reemplazo de los filtros de aire según recomendaciones del fabricante.

CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO

Se establecen los requisitos para los instrumentos de medición y verificación utilizados para evaluar el rendimiento y la eficiencia de la bomba de calor.

7.5 Sistema de distribución

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Sistema de calefacción por suelo radiante "ALB", compuesto por film de polietileno de baja densidad, de 300 µm de espesor, para formación de barrera antihumedad, panel aislante liso de poliestireno expandido, de 1000x500 mm y 25 mm de espesor, con lámina superficial de aluminio, difusora del calor, de 0,25 mm de espesor, resistencia térmica 0,75 m²K/W, tubo de polietileno de 20 mm de diámetro exterior y 2 mm de espesor y grapas de plástico para fijación del tubo al panel liso. Paso de entre 150 y 300mm, dependiendo del tipo de estancia. Dos acumuladores, uno de seis vías en la planta baja y otro de ocho en el piso superior. Totalmente montado, conexionado y probado.

NORMATIVA DE APLICACIÓN

Real Decreto 178/2021, de 23 de marzo, por el que se modifica el Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.

CONDICIONES PREVIAS QUE HAN DE CUMPLIRSE ANTES DE LA EJECUCIÓN DE LAS UNIDADES DE OBRA

DEL CONTRATISTA.

Presentará prueba documental de la capacidad técnica de la empresa ejecutora.

PROCESO DE EJECUCIÓN

FASES DE EJECUCIÓN.

Transporte a la obra. Distribución de los elementos de la instalación.

Conexión del equipo.

CONDICIONES DE TERMINACIÓN.

Correcto funcionamiento del equipo instalado.

CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO.

Se establece la necesidad de realizar inspecciones periódicas del sistema de suelo radiante para verificar su estado y funcionamiento. Esto puede incluir la revisión visual de las tuberías, conexiones, colectores, válvulas y otros componentes del sistema. Comprobar el correcto funcionamiento de colectores y válvulas del sistema.

CRITERIO DE MEDICIÓN EN OBRA Y CONDICIONES DE ABONO

Se establecen los requisitos para los instrumentos de medición y verificación utilizados para evaluar la eficiencia del sistema y garantizar un funcionamiento adecuado, de forma que se pueda asegurar que se mantienen las temperaturas adecuadas para la calefacción o refrigeración del espacio.

Mediciones y Presupuesto

Código	Unidad	Descripción	Cantidad	Precio	Importe
Bomba de calor geotérmica					
03.01.1	Ud	Bomba de calor geotérmica modelo geoTHERM VWS 00 2023 1523 de Vaillant	1	14.175,00€	14.175,00€
03.01.2	Ud	Manguito antivibración, de goma, con rosca de 1 1/4", para una presión máxima de trabajo de 10 bar.	4	37,17€	148,68€
03.01.3	Ud	Válvula de esfera de latón niquelado para roscar de 1 1/4".	8	16,78€	134,24€
Sistema de captación					
03.02.1	Ud	Sonda geotérmica para instalación vertical, de 100 m de longitud y 96 mm de diámetro, formada por dos sondas, estando formada cada sonda por un tubo de polietileno de alta densidad (PE 100) de 32 mm de diámetro y 2,9 mm de espesor, SDR11, y un pie con forma de V, al que se sueldan los tubos, peso de la sonda 495 kg, temperatura de trabajo entre -20°C y 30°C, suministrada en rollos.	1	1.029,25€	1.029,25€
03.02.2	m	Tubo de inyección, de polietileno de alta densidad (PEAD/HDPE), de 25 mm de diámetro exterior y 2,3 mm de espesor, para relleno de sonda geotérmica vertical.	100	1,43€	143,00€
03.02.3	Ud	Conjunto de dos piezas en Y, de polietileno de alta densidad (PE 100), de 40 mm de diámetro de entrada y 32 mm de diámetro en las derivaciones, para unión de la sonda geotérmica vertical doble al colector.	1	58,55€	58,55€
03.02.4	Ud	Distanciador para tubos, 4x32 mm, con orificio central de 45 mm de diámetro para guiado del tubo de inyección, para sonda geotérmica vertical.	14	7,36	103,04
03.02.5	Ud	Mortero preparado de bentonita y cemento, de conductividad térmica mínima 2,35 W/(mK), baja permeabilidad al agua, resistente a heladas, densidad 1800 kg/m ³ , resistencia mecánica a compresión 10 N/mm ² , para inyección y relleno de sonda geotérmica vertical.	1	1.800,00€	1.944,00€
03.02.6	l	Fluido caloportador (monopropilenglicol) para llenado de circuito de sondas.	64	4,00€	256,00€
03.02.7	Ud	Ejecución de la perforación en suelo de admellita, de 100m de profundidad y 110mm de diámetro. Incluye transporte, instalación de las sondas y relleno.	1	1.000,00€	1.000,00€

Sistema de emisión					
03.03.1	m ²	Film de polietileno de baja densidad, de 300 µm de espesor.	173	4,01€	549,37€
03.03.2	m	Banda de espuma de polietileno de estructura celular cerrada, de 7x137 mm, con película termosoldada de polietileno, de 160 mm.	140	1,59€	222,60€
03.03.3	m ²	Panel aislante liso de poliestireno expandido, de 1000x500 mm y 25 mm de espesor, con lámina superficial de aluminio, difusora del calor, de 0,25 mm de espesor, resistencia térmica 0,75 m ² K/W, modelo Difutec "ALB", provisto de solapas autoadhesivas y cuadrícula serigrafiada de guía.	300	25,20€	7.560,00€
03.03.4	m	Tubo multicapa formado por una capa exterior de polietileno resistente a la temperatura (PE-RT), una capa intermedia de aluminio de 0,25 mm de espesor soldada a testa y una capa interior de polietileno resistente a la temperatura (PE-RT), de 20 mm de diámetro exterior y 2 mm de espesor, "ALB", suministrado en rollos de 250 m de longitud.	615	3,38€	2.078,70€
03.03.5	Ud	Grapa de plástico, "ALB", para fijación del tubo al panel liso.	2.500	0,12€	300,00€
03.03.6	m ³	Mortero autonivelante, CT - C15 - F3 según UNE-EN 13813, a base de cemento, para espesores de 4 a 10 cm, usado en nivelación de pavimentos.	6,92	234,74€	1.624,40€
TOTAL					31.326,83€