



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Diseño de una instalación geotérmica de baja entalpía para climatización y producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS) en el edificio del Ayuntamiento de Vilamarxant (València).

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de la Energía

AUTOR/A: Martínez Torregrosa, Javier

Tutor/a: Badenes Badenes, Borja

Cotutor/a: Mateo Pla, Miguel Ángel

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO DE FIN DE GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA

**DISEÑO DE INSTALACIÓN
GEOTÉRMICA DE BAJA ENTALPÍA
PARA CLIMATIZACIÓN Y
PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE
SANITARIA (ACS) EN EL EDIFICIO
DEL AYUNTAMIENTO DE
VILAMARXANT (VALENCIA)**

AUTOR: JAVIER MARTÍNEZ TORREGROSA

TUTOR: BORJA BADENES BADENES

COTUTOR: MIGUEL ÁNGEL MATEO PLA

Curso Académico: 2021-2022

Índice

1	INTRODUCCIÓN.....	10
	Objetivos y alcance del proyecto	10
	Motivación del proyecto	10
2	ENERGÍA GEOTÉRMICA.....	11
2.1	Introducción a la geotermia	11
2.2	Geotermia de muy baja entalpía o somera.....	11
2.3	Geotermia en el mundo.....	14
2.4	Geotermia en España.....	16
3	DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO Y ENTORNO	18
3.1	Ubicación del edificio.....	18
3.2	Condiciones climatológicas	20
3.3	Condiciones geológicas y conductividad del terreno	21
3.4	Oscilación térmica del terreno	23
4	ESTUDIO ENERGÉTICO DEL EDIFICIO.....	25
4.1	Modelado en IFC Builder.....	25
4.2	Cálculo de cargas térmicas con CYPETHERM LOADS	27
4.2.1	Modelado de los recintos.....	27
4.2.2	Definición de la envolvente térmica	27
4.2.3	Cargas térmicas máximas.....	29
4.3	Demanda energética de climatización.....	30
4.4	Demanda de ACS	31
4.5	Resumen del estudio energético.....	33
5	DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR ENTERRADO	34
5.1	Configuración empleada.....	34
5.1.1	Hipótesis 1: Campo geotérmico para el edificio principal (Ato. Vilamarxant)	35
5.1.2	Hipótesis 2: Campo geotérmico para el edificio principal (Ayto. Vilamarxant) y edificio colindante.....	36
5.2	Fluido caloportador	37
5.3	Simulación del comportamiento del intercambiador enterrado con el programa Earth Energy Designer (EED).....	37
6	DISEÑO DE LA SALA DE MÁQUINAS	40
6.1	Bomba de calor geotérmica y prestaciones.....	40
6.1.1	Compresor	42
6.1.2	Fluido de trabajo.....	42
6.2	Funcionamiento de la BCG.....	43

6.3	Depósitos de inercia y ACS.....	44
6.4	Intercambiador de placas	45
6.5	Vasos de expansión	45
6.6	Bombas de circulación	47
6.7	Esquema de la sala de máquinas.....	51
7	ANÁLISIS DE LAS PRESTACIONES DE LA INSTALACIÓN	52
7.1	Producción de Agua Caliente Sanitaria.....	52
7.2	Sistemas de climatización	52
7.3	Puntos de funcionamiento de la bomba de calor	53
7.3.1	Calefacción y ACS.....	54
7.3.2	Refrigeración	56
7.4	Rendimientos medios estacionales	58
8	ANÁLISIS ENERGÉTICO Y MEDIOAMBIENTAL.....	60
8.1	Análisis ambiental.....	60
8.2	Análisis energético.....	60
8.3	Comparativa con la instalación actual	61
9	ANÁLISIS ECONÓMICO	63
9.1	Periodo de amortización.....	63
9.2	Subvenciones	65
10	CONCLUSIONES	66
11	BIBLIOGRAFÍA.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Temperaturas medias de Vilamarxant a lo largo del año. Fuente: Weatherspark.	20
Tabla 2: Composición de las rocas que forman el terreno en el municipio de Vilamarxant. Fuente: Diagnóstico técnica de Vilamarxant. Diputación de Valencia.:	21
Tabla 3. Conductividad térmica de los materiales que conforman el subsuelo. Fuente: IGME	22
Tabla 4. Clasificación y características de los recintos en IFC Builder.	27
Tabla 5. Capas de los muros de fachada.	27
Tabla 6: Capas de los muros de tabiquería.	28
Tabla 7: Capas del muro de solera.....	28
Tabla 8: Capas de la cubierta.	28
Tabla 9: Capas del forjado entre pisos.	29
Tabla 10: Demanda energética de calefacción y refrigeración por meses.	30
Tabla 11. Demanda de ACS según tipo de edificio. Fuente: CTE HE-4.....	31
Tabla 12: Demanda energética de ACS por meses en kWh.	32
Tabla 13: Demanda energética por meses y total del edificio.	33
Tabla 14: Potencias pico de calefacción y refrigeración.	33
Tabla 15: Temperaturas mínimas y máximas medias del fluido caloportador para la hipótesis 1.	38
Tabla 16: Temperaturas máximas y mínimas medias del fluido para la hipótesis 2.....	39
Tabla 17. Características técnicas de los depósitos de inercia y ACS. Fuente: Ecoforest.....	45
Tabla 18: Volumen de agua para el diseño del vaso de expansión. Fuente propia.	46
Tabla 19: Datos técnicos del vaso de expansión.....	47
Tabla 20: Caudal máximo trasegado por la BCG.	48
Tabla 21: Perdida de carga en las tuberías. Fuente: Fabricante de PEHD.....	48
Tabla 22: Características técnicas bomba de circulación. Fuente: Grundfos.....	50
Tabla 23: Puntos de funcionamiento de la BCG para calefacción, con una temperatura de producción de 40/45°C, y una captación a 7/10°C.:	55
Tabla 24: Puntos de funcionamiento de la BCG para calefacción, con una temperatura de producción de 40/45°C, y una captación a 14/17°C.:	55
Tabla 25: Caracterización de los puntos de funcionamiento de la BCG para una temperatura de captación de 20/25°C y una producción a 7/12°C.....	57
Tabla 26: Caracterización de los puntos de funcionamiento de la BCG para una temperatura de captación de 30/35°C y producción a 7/12°C.	57
Tabla 27: Rendimiento medio estacional de la BCG para los distintos modos de funcionamiento, y para el año 25 de simulación.	58
Tabla 28: Rendimiento medio de la instalación completa, teniendo en cuenta las bombas de circulación.	59
Tabla 29: Rendimientos en calefacción y refrigeración de la instalación existente.	61
Tabla 30: Comparativa del coste operativo de la instalación geotérmica con la existente. Fuente propia.	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1: Variación de la temperatura del terreno según condiciones exteriores. Fuente: Instalaciones y eficiencia energética.com.....</i>	<i>12</i>
<i>Ilustración 2: Sistema geotérmico abierto. Fuente: grupovisiona.com.....</i>	<i>13</i>
<i>Ilustración 3: Intercambiador horizontal cerrado. Fuente: Colegio Oficial Ingenieros Industriales de Galicia.....</i>	<i>13</i>
<i>Ilustración 4: Intercambiador vertical cerrado. Fuente: Agasca.com.....</i>	<i>14</i>
<i>Ilustración 5: Límite de placas tectónicas y puntos calientes del globo terráqueo. Fuente: Universidad de Costa Rica.....</i>	<i>14</i>
<i>Ilustración 6: Capacidad de producción de energía geotérmica por países. Fuente: elperiodicodelaenergia.com.....</i>	<i>15</i>
<i>Ilustración 7: Recursos geotérmicos en España. Fuente: ABC.es.....</i>	<i>16</i>
<i>Ilustración 8: Mix energético español en 2020. Fuente: Red Eléctrica de España.....</i>	<i>16</i>
<i>Ilustración 9: Situación edificio objeto. Fuente: Google Maps.....</i>	<i>18</i>
<i>Ilustración 10: Vista satélite localización del Ayuntamiento. Fuente: Google Maps.....</i>	<i>19</i>
<i>Ilustración 11: Localización de ambos edificios en la calle Dos de Mayo. Fuente: Google Maps.....</i>	<i>19</i>
<i>Ilustración 12: Evolución temperatura diaria Vilamarxant. Fuente: Weatherspark.....</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 13: Visión real Ayto. Vilamarxant.....</i>	<i>26</i>
<i>Ilustración 14: Modelado en IFC Builder del Ayto. Vilamarxant.....</i>	<i>26</i>
<i>Ilustración 15: Demanda horaria anual del edificio objeto.....</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 16: Demanda energética TOTAL del edificio por meses.....</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 17: Distribución del campo geotérmico para la hipótesis 1.....</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 18: Distribución del campo geotérmico para la hipótesis 2.....</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 19: Temperaturas medias del fluido durante el último año de simulación para la hipótesis 1.....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 20: Temperaturas medias del fluido durante el último año de simulación para la hipótesis 2.....</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 21: BCG 25-100. Fuente: Ecoforest.....</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 22: Esquema de principio de diseño simultáneo. Fuente: Ecoforest.....</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 23: Intercambiador de placas.....</i>	<i>45</i>
<i>Ilustración 24: Esquema tipo de la sala de máquinas para el diseño simultáneo. Fuente: Ecoforest.....</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 25: Esquema simplificado del funcionamiento de un fan-coil. Fuente: Geotermia vertical.....</i>	<i>53</i>

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Comparación de bombas de calor vendidas en Europa en 2019. Datos obtenidos de piensageotermia.com.....	17
Gráfico 2: Composición del suelo y porcentaje respecto al total. Fuente: Diagnóstico técnico de Vilamarxant. Diputación de Valencia.	22
Gráfico 3: Oscilación térmica del terreno en función de la profundidad y el día del año. Fuente propia...	24
Gráfico 4: Evolución de tmax y tmin con la profundidad del terreno. Fuente propia.....	25
Gráfico 5: Curvas características de la bomba de circulación MAGNA3 50-180 F. Fuente: Grundfos.....	51
Gráfico 6: Puntos de funcionamiento de la bomba de calor en calefacción y ACS. Fuente: Ecoforest.	54
Gráfico 7: Puntos de funcionamiento de la BCG en calefacción y ACS en función de la velocidad de giro del compresor. Fuente propia.....	56
Gráfico 8: Puntos de funcionamiento de la bomba de calor en refrigeración. Fuente: Ecoforest.....	56
Gráfico 9: Puntos de funcionamiento de la BCG en refrigeración en función de la velocidad del compresor. Fuente propia.	58
Gráfico 10: Comparativa de emisiones de ambas instalaciones. Fuente propia.	62
Gráfico 11: Análisis económico y periodo de amortización de la instalación completa. Fuente propia.	65

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Expresión de Kusuda y Achenbach para la variación de la temperatura del terreno.	23
Ecuación 2: Variación de la temperatura máxima y mínima en función de la profundidad.	24
Ecuación 3: Corrección de la demanda de ACS para 50 °C.....	32
Ecuación 4: Cálculo de la potencia necesaria para ACS.	32
Ecuación 5: Cálculo del coeficiente de dilatación del agua para temperaturas entre 30°C y 70°C según norma UNE 100 155 88.....	46
Ecuación 6: Cálculo del coeficiente de presión del agua según norma UNE 100 155 88.....	46
Ecuación 7: Cálculo del volumen total del depósito de expansión.....	47
Ecuación 8: Cálculo de las pérdidas de carga.	49
Ecuación 9: Cálculo del rendimiento de la bomba de calor en modo calefacción y ACS.	55
Ecuación 10: Cálculo del rendimiento de la bomba de calor en modo refrigeración.	57
Ecuación 11: Cálculo del SPF para bombas de calor según el IDAE.	61
Ecuación 12: Cálculo de la evolución de los precios de la electricidad año a año.....	63

RESUMEN

TÍTULO: Diseño de una instalación geotérmica de baja entalpía para climatización y producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS) en el edificio del Ayuntamiento de Vilamarxant (València).

El objetivo de este trabajo fin de grado (TFG) consiste en el diseño de una instalación geotérmica somera para la climatización y el suministro de agua caliente sanitaria (ACS) mediante una bomba de calor geotérmica del edificio del Ayuntamiento de Vilamarxant (València).

Para ello, el alumno realizará en primer lugar un trabajo de recopilación de los datos necesarios de partida para el diseño del sistema, determinando las características constructivas del edificio para calcular las cargas térmicas que necesita proporcionar el sistema de climatización. También realizará una evaluación mediante bibliografía existente de las características geológicas del terreno donde se localiza el edificio para el correcto dimensionado del intercambiador de calor geotérmico.

Una vez recopilados los datos de campo, el alumno diseñará el sistema de climatización, calculando la longitud necesaria del intercambiador geotérmico enterrado (bajo dos hipótesis, una calculando para dar servicio únicamente al edificio del Ayuntamiento y otra segunda hipótesis de un campo geotérmico común para dos edificios municipales); y el resto de elementos que componen la sala de máquinas, realizando una búsqueda de las características de los equipos a instalar y ha llevado a cabo su selección a partir de los datos técnicos.

Se realizará un detallado análisis de la eficiencia térmica de la nueva instalación, calculando de manera horaria el punto de funcionamiento de la bomba de calor, en función de la carga térmica a suministrar y la temperatura estimada en el intercambiador geotérmico. Este análisis de funcionamiento se comparará con el funcionamiento del sistema de climatización anterior, comprobando los resultados con las facturas eléctricas. Como conclusión, se realizará un análisis económico y medioambiental, calculando los ahorros económicos, energéticos, producción de energía renovable y reducción de emisiones, comparando la solución proyectada con la instalación previa, obteniendo las conclusiones principales del trabajo.

Para finalizar, se mostrarán todos los componentes de la instalación planteada en diversos planos y esquemas de principio realizado las mediciones para elaborar un presupuesto de ejecución.

PALABRAS CLAVE: geotermia, energías renovables, climatización mediante energía geotérmica, bomba de calor geotérmica, proyecto de climatización, eficiencia energética.

ABSTRACT

TITLE: Design of a low enthalpy geothermal installation for air conditioning and domestic hot water (DHW) in Town Hall building of the Vilamarxant (Valencia).

The aim of this Final Degree Project (TFG) is the design of a shallow geothermal installation for air conditioning and domestic hot water supply (DHW) by means of a geothermal heat pump in the building of the Town Hall of Vilamarxant (Valencia).

To do this, the student will first carry out a work of collecting the necessary starting data for the design of the system, determining the constructive characteristics of the building to calculate the thermal loads that need to provide the air conditioning system. An evaluation of the geological characteristics of the ground where the building is located will also be carried out using existing literature for the correct sizing of the geothermal heat exchanger.

Once the field data have been collected, the student will design the air conditioning system, calculating the necessary length of the buried geothermal heat exchanger (under two hypotheses, one calculating to serve only the City Hall building and a second hypothesis of a common geothermal field for two municipal buildings); and the other elements that make up the machine room, performing a search of the characteristics of the equipment to be installed and has carried out its selection from the technical data.

A detailed analysis of the thermal efficiency of the new installation will be carried out, calculating on an hourly basis the operating point of the heat pump, depending on the thermal load to be supplied and the estimated temperature in the geothermal exchanger. This operation analysis will be compared with the operation of the previous air conditioning system, checking the results with the electricity bills. As a conclusion, an economic and environmental analysis will be carried out, calculating the economic and energy savings, renewable energy production and emissions reduction, comparing the projected solution with the previous installation, obtaining the main conclusions of the work.

Finally, all the components of the proposed installation will be shown in various drawings and diagrams of principle made the measurements to develop a budget for implementation.

KEY WORDS: geothermal energy, renewable energies, air conditioning through geothermal energy, geothermal heat pump, air conditioning project, energy efficiency.

RESUM

TÍTOL: Disseny d'una instal·lació geotèrmica de baixa entalpia per a climatització i producció d'Aigua Calenta Sanitària (ACS) en l'edifici de l'Ajuntament de Vilamarxant (València).

L'objectiu d'aquest treball fi de grau (*TFG) consisteix en el disseny d'una instal·lació geotèrmica succinta per a la climatització i el subministrament d'aigua calenta sanitària (ACS) mitjançant una bomba de calor geotèrmica de l'edifici de l'Ajuntament de Vilamarxant (València).

Per a això, l'alumne realitzarà en primer lloc un treball de recopilació de les dades necessàries de partida per al disseny del sistema, determinant les característiques constructives de l'edifici per a calcular les càrregues tèrmiques que necessita proporcionar el sistema de climatització. També realitzarà una avaluació mitjançant bibliografia existent de les característiques geològiques del terreny on es localitza l'edifici per al correcte dimensionament del bescanviador de calor geotèrmica.

Una vegada recopilats les dades de camp, l'alumne dissenyarà el sistema de climatització, calculant la longitud necessària del bescanviador geotèrmic enterrat (sota dues hipòtesis, una calculant per a donar servei únicament a l'edifici de l'Ajuntament i una altra segona hipòtesi d'un camp geotèrmic comú per a dos edificis municipals); i la resta d'elements que componen la sala de màquines, realitzant una cerca de les característiques dels equips a instal·lar i ha dut a terme la seua selecció a partir de les dades tècniques.

Es realitzarà una detallada anàlisi de l'eficiència tèrmica de la nova instal·lació, calculant de manera horària el punt de funcionament de la bomba de calor, en funció de la càrrega tèrmica a subministrar i la temperatura estimada en el bescanviador geotèrmic. Aquesta anàlisi de funcionament es compararà amb el funcionament del sistema de climatització anterior, comprovant els resultats amb les factures elèctriques. Com a conclusió, es realitzarà una anàlisi econòmica i mediambiental, calculant els estalvis econòmics, energètics, producció d'energia renovable i reducció d'emissions, comparant la solució projectada amb la instal·lació prèvia, obtenint les conclusions principals del treball.

Per a finalitzar, es mostraran tots els components de la instal·lació plantejada en diversos plans i esquemes de principi realitzat els mesuraments per a elaborar un pressupost d'execució.

PARAULES CLAU: geotèrmia, energies renovables, climatització mitjançant energia geotèrmica, bomba de calor geotèrmica, projecte de climatització, eficiència energètica.

1 INTRODUCCIÓN

Objetivos y alcance del proyecto

El objetivo principal de este proyecto es el de diseñar correctamente un sistema de climatización de un edificio de dominio público como es el Ayuntamiento de la localidad valenciana de Vilamarxant. Se proveerá al edificio de todas las necesidades de climatización, así como de la demanda de agua caliente sanitaria (ACS),

En primer lugar, se propondrá una breve introducción sobre los diferentes tipos de yacimientos geotérmicos que existen, su manera de aprovecharlos y de la situación de la energía geotérmica tanto en España como a nivel global.

Se obtendrán tanto los datos climáticos como los datos geológicos del terreno, con el objetivo de conocer bien el entorno. Una vez hecho esto, se pasará al estudio energético del propio edificio, el cual contará con el uso de diversos programas como IFC Builder o los programas de CYPE para la estimación de las cargas térmicas.

Una vez recabados todos los datos del estudio energético, teniendo en cuenta tanto las cargas térmicas pico de calefacción y de refrigeración, como la demanda energética horaria, se procederá a la selección de la bomba de calor geotérmica (BCG) y del diseño de los subsistemas que conformarán la sala de máquinas.

Con la selección de la bomba y de los parámetros más característicos, se hará uso de otros programas informáticos como el Earth Energy Designer (EED) el cual nos proporcionará información valiosa del número de perforaciones, así como del tipo de intercambiador enterrado y sus características.

Finalmente, se elaborará un estudio energético, económico y ambiental, y se comparará con un sistema convencional. Se trazarán también los periodos de retorno y la rentabilidad. Se concluirá el proyecto con el presupuesto total de la obra.

Motivación del proyecto

La motivación del proyecto presentado en esta memoria es la de diseñar un sistema de climatización y de producción de agua caliente sanitaria que utilice energía geotérmica somera o de baja entalpía para satisfacer las necesidades energéticas del edificio, aprovechando la rehabilitación energética que se va a realizar en el mismo y demostrando que existe un modelo energético sostenible sustentado en la energía renovable que alberga el terreno. Principalmente, explicar la existencia d modelos alternativos basados en energías renovables con los que se permite la climatización de un edificio de manera eficiente y su diferencia con los sistemas convencionales. Todo ello sin ver afectadas las condiciones de habitabilidad del edificio e incluso mejorándolas.

2 ENERGÍA GEOTÉRMICA

2.1 Introducción a la geotermia

La energía geotérmica es aquella que se obtiene mediante el aprovechamiento del calor interno de la Tierra. Se trata de un recurso inmenso, una fuente renovable, sostenible e inagotable.

Los yacimientos geotérmicos, que son las zonas del subsuelo cuyo calor se puede aprovechar, se clasifican de acuerdo con el nivel energético del recurso que contienen, es decir, en función de su temperatura:

- **Geotermia de alta entalpía:** Se encuentran en las zonas más activas de la corteza terrestre y normalmente tienen temperaturas superiores a los 150 °C. Este tipo de yacimientos se suele utilizar para la producción de energía eléctrica, utilizando vapor a altas presiones, que será el encargado de mover los álabes de una turbina.
- **Geotermia de media entalpía:** Generalmente, este tipo de yacimientos poseen una temperatura que se encuentra entre 100 y 150 °C. Permiten su aprovechamiento para producción de energía eléctrica o para calefacción de distrito.
- **Geotermia de baja entalpía:** Se alcanzan temperaturas que se encuentran entre los 30 y 100 °C. Al poseer poca energía, normalmente se utilizan para calefacción de distrito o producción de agua caliente sanitaria.
- **Geotermia de muy baja entalpía:** Estos yacimientos se encuentran alrededor de toda la corteza terrestre. Poseen una temperatura inferior a los 30 °C y se utilizan como intercambiador térmico en sistemas de climatización mediante bombas de calor.

2.2 Geotermia de muy baja entalpía o somera

La geotermia de muy baja entalpía o también denominada geotermia somera basa su principio en la capacidad que tiene la tierra para acumular el calor procedente del sol, manteniendo una temperatura prácticamente constante durante todo el año. Además, es una energía ampliamente utilizada para climatizar cualquier tipo de ambiente, desde viviendas unifamiliares hasta grandes complejos como hospitales o centros universitarios, o como es por ejemplo el objeto de proyecto, un edificio público.

La geotermia somera, a diferencia de los demás tipos de energías geotérmicas, no requiere grandes profundidades y tampoco está vinculada a puntos calientes del subsuelo ni a aguas termales. Puede explotarse en cualquier lugar, lo que significa una ventaja muy representativa. Lo realmente diferencial de este tipo de energía es el aprovechamiento de una fuente de calor con una temperatura prácticamente constante, que normalmente se situará entre los 10-20 °C durante todo el año. Esta es otra ventaja excepcional, ya que, a diferencia de la aerotermia, su rendimiento es independiente de las condiciones atmosféricas.

Normalmente, esta fuente de calor con una temperatura constante se consigue adentrándose unos pocos metros en el subsuelo. A partir de unos 5 metros de profundidad o menos, la temperatura del terreno es prácticamente constante frente a los cambios climáticos producidos en la superficie, tal y como se ve en la ilustración 1:

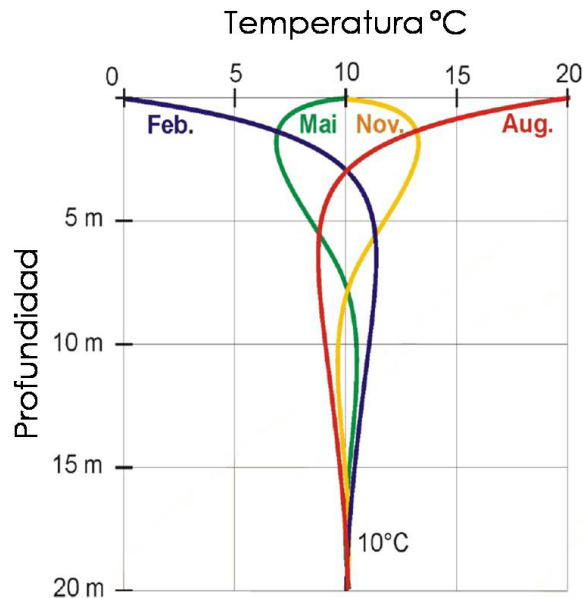


Ilustración 1: Variación de la temperatura del terreno según condiciones exteriores. Fuente: Instalaciones y eficiencia energética.com

La explotación de la geotermia somera se realiza mediante bombas de calor, como cualquier otro sistema de climatización convencional. El sistema aerotérmico convencional utiliza la energía del aire exterior para extraer o disipar calor según convenga. Existen situaciones donde dependiendo de las condiciones climatológicas exteriores, la disipación o absorción de energía pueda resultar muy costosa en términos energéticos. Aquí es donde radica la diferencia principal de los sistemas de climatización geotérmicos. Estos sistemas utilizan el medio subterráneo para extraer o absorber energía, con una fuente a una temperatura constante, lo que le otorga un rendimiento, no sólo más alto que en los sistemas convencionales, si no también mucho más constante durante todo el año. Los ahorros energéticos de la utilización de los sistemas geotérmicos frente a los convencionales pueden incluso ser superiores al 50 % en la mayoría de los casos.

Existen diversos tipos de infraestructuras que permiten el aprovechamiento de este recurso energético. A grandes rasgos se pueden clasificar en sistemas abiertos y sistemas cerrados:

Sistema abierto: Este tipo de sistemas requiere de la presencia de aguas subterráneas. Se realiza una perforación por donde se bombea agua para refrigeración o hasta la bomba de calor, y otra perforación distinta por donde se retorna el agua hasta el pozo subterráneo. Este tipo de sistemas no suelen ser utilizados, debido a que en zonas áridas la extracción de aguas subterráneas podría suponer un inconveniente. También puede afectar negativamente al medio ambiente, ya que el agua vuelve a una temperatura distinta a la que se encuentra la fuente, pudiendo alterar tanto las condiciones físicas como químicas del medio subterráneo.

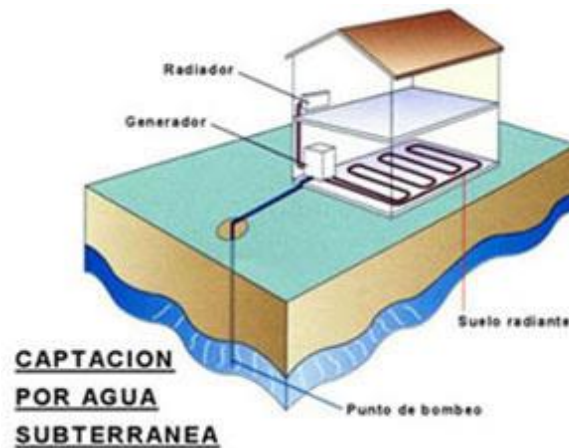


Ilustración 2: Sistema geotérmico abierto. Fuente: grupovisiona.com

Sistema cerrado: Los sistemas cerrados, a diferencia de los sistemas abiertos, no extraen agua de los acuíferos, si no que, mediante una sonda geotérmica especial y un fluido caloportador, extraen o evacúan calor con el terreno en función de las necesidades.

Dentro de los sistemas cerrados existen varias tipologías de intercambiadores:

- **Intercambiador horizontal:** Estos intercambiadores utilizan profundidades que no son superiores a los 10 m. Tienen una buena relación coste-prestaciones, requieren una instalación más sencilla y es la más utilizada en nuevas construcciones. En contraposición, el uso del terreno es bastante grande y existe un peligro de interferencia constructiva que requiere una estricta coordinación de obra.

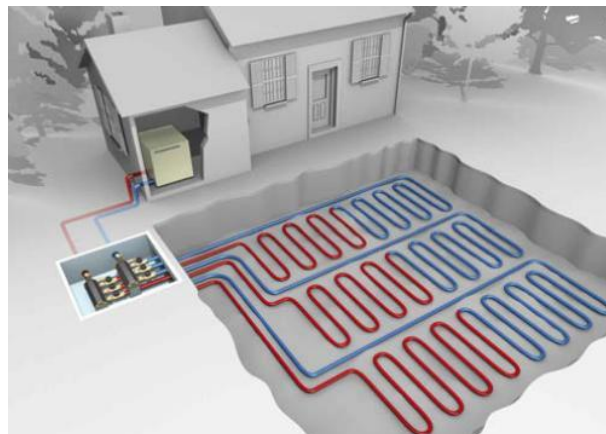


Ilustración 3: Intercambiador horizontal cerrado. Fuente: Colegio Oficial Ingenieros Industriales de Galicia.

- **Intercambiador vertical:** Los intercambiadores de bucle vertical minimizan el área afectada. Los pozos suelen tener una profundidad típica que varía entre los 50 y los 150 m con material de relleno. Algunas de las desventajas frente a los anteriores es la menor longitud relativa de tubería, se requieren mayores costes de instalación por profundidad y una mayor complejidad de obra/ingeniería.

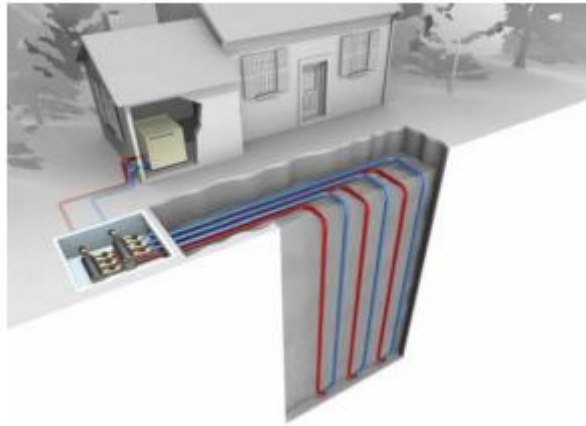


Ilustración 4: Intercambiador vertical cerrado. Fuente: Agasca.com

2.3 Geotermia en el mundo

La geotermia se encuentra principalmente en las zonas situadas en los límites de las placas tectónicas. Son zonas generalmente activas tanto sísmicamente como volcánicamente, donde el calor proveniente del núcleo de la Tierra asciende hasta capas altas de la corteza terrestre.

También existen zonas de la geografía terrestre denominadas “puntos calientes” donde la corteza es más delgada y existen conductos que comunican con las profundidades de la Tierra y permiten el movimiento vertical del magma. Numerosos ejemplos de estos puntos son las islas volcánicas del Archipiélago de las Azores, el Archipiélago Canario o las islas de Hawaii.

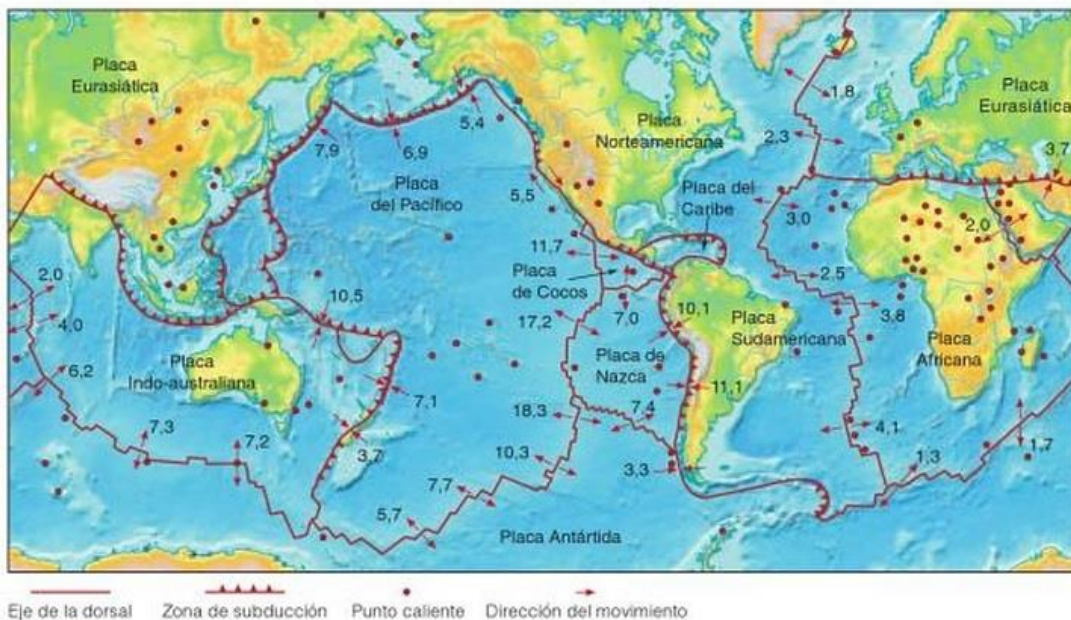


Ilustración 5: Límite de placas tectónicas y puntos calientes del globo terráqueo. Fuente: Universidad de Costa Rica.

La geotermia se inició a principios del siglo XX en Italia, donde se construyó la primera planta geotérmica del mundo con capacidad de producción de 250 kWe. Otros países fueron adentrándose en el mundo de la geotermia, como Nueva Zelanda, México o Estados Unidos.

En la ilustración 6 siguiente se puede observar la capacidad por país de producción de energía geotérmica alrededor del mundo.

Figure 2: Geothermal Power Operating Capacity by Country

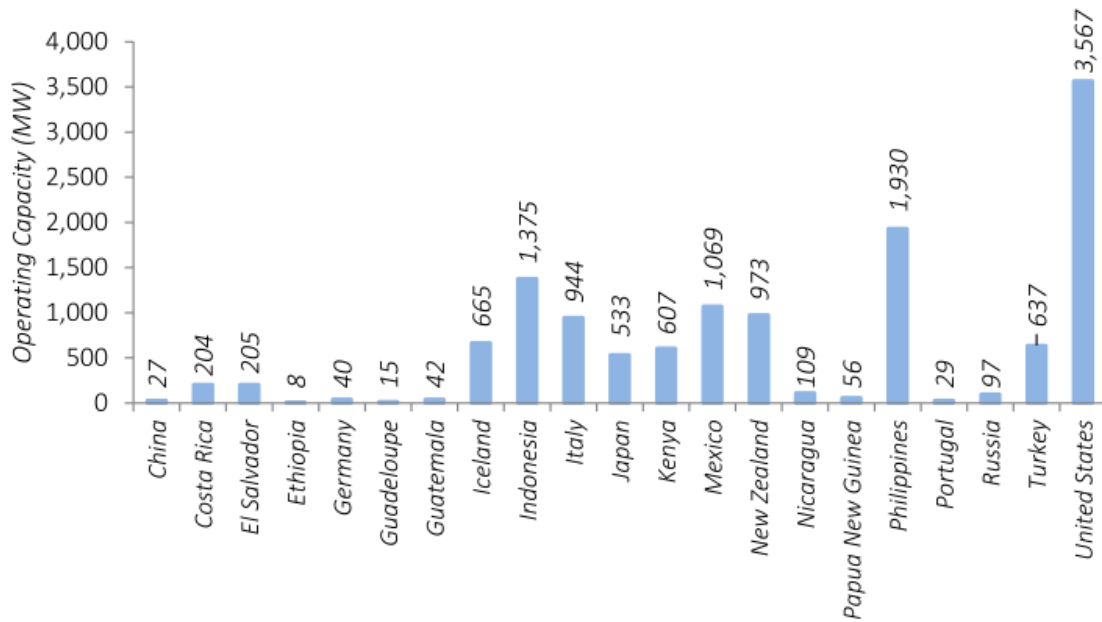


Ilustración 6: Capacidad de producción de energía geotérmica por países. Fuente: elperiodicodelaenergia.com.

Como puede observarse, la mayoría de los países con capacidad de producción a partir de geotermia se encuentran en el límite de placas tectónicas o en puntos calientes del planeta. Sin embargo, la geotermia tiene muchos más usos aparte de la generación de energía eléctrica, como pueden ser la calefacción de distrito o la climatización de edificios, usos que se pueden llevar a cabo en casi cualquier parte del globo terráqueo.

2.4 Geotermia en España

La energía geotérmica es un recurso valioso en España, y si se avanzara más se podría alcanzar la tan esperada descarbonización de la economía. Sin embargo, esta energía en España es la más olvidada y la más desconocida por las administraciones, organismos públicos y técnicos, mientras que en el resto de Europa y en algunos países del mundo es una tecnología consolidada. Los recursos disponibles en España se ven expuestos en la ilustración 7.

Energía geotérmica en España

Tipos y aprovechamiento

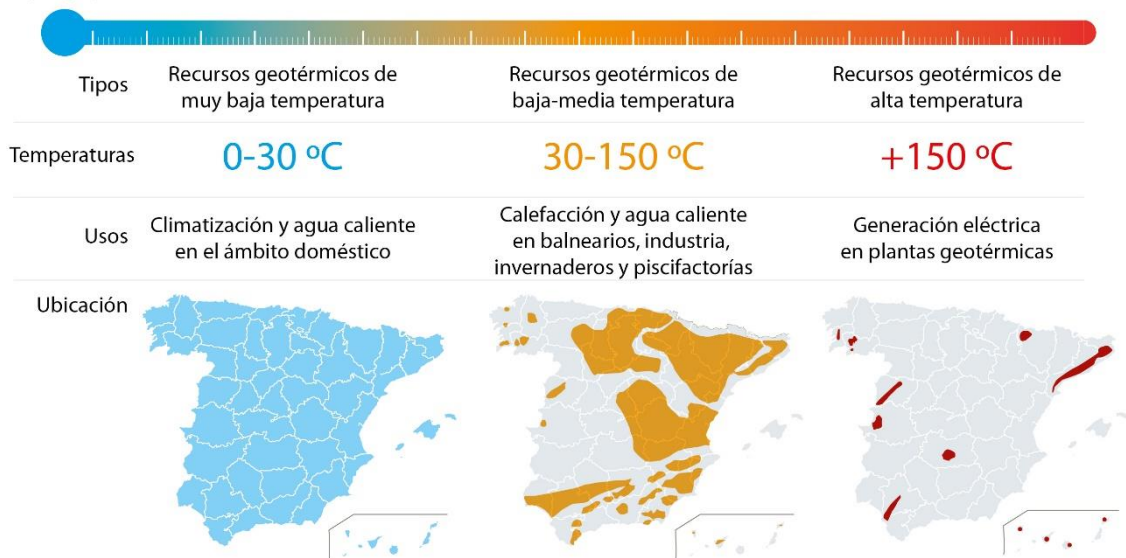


Ilustración 7: Recursos geotérmicos en España. Fuente: ABC.es.

Como se ha expuesto en el punto 2.1 existen diversos tipos de yacimientos geotérmicos en función de su temperatura. Los de alta temperatura, que son capaces de la generación de energía eléctrica se encuentran a varios kilómetros por debajo de la superficie. Aunque se sabe desde los años 80 que el país tiene un potencial muy alto, especialmente en Canarias y en algunas zonas de Cataluña, su grado de implantación es prácticamente nulo. La explicación radica principalmente en la falta de inversión estatal en exploración e investigación geotérmica.

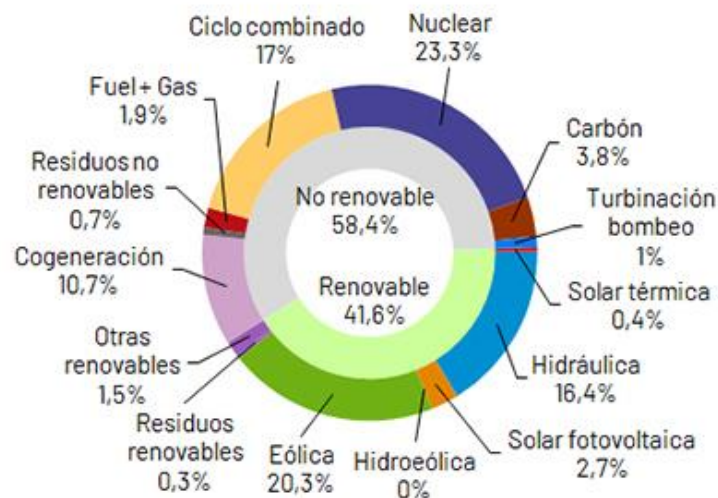


Ilustración 8: Mix energético español en 2020. Fuente: Red Eléctrica de España.

Actualmente la generación eléctrica a partir de geotermia en España es nula en vista del mix energético del año pasado (ilustración 8). Las tecnologías geotérmicas están muy controladas, maduras, eficientes y competitivas, pero la necesidad de realizar perforaciones es un freno. Además, no existe una regulación específica y falta un respaldo institucional

Otro tipo de recursos geotérmicos son los de producción de calor. Los recursos de media-baja temperatura que se utilizan para calefacción de distrito o para su uso en balnearios, industria e invernaderos existen en muchos puntos alrededor de la geografía española. Esta opción es ampliamente usada en muchos países nórdicos como Suecia o Finlandia. Sin embargo, existe un retraso considerable del desarrollo de este tipo de tecnologías en España. Dicho retraso se debe principalmente a que las demandas de calefacción en España no son tan elevadas como en otros lugares del continente. Sin embargo, en los últimos años se ha demostrado sobradamente su utilidad también en refrigeración.

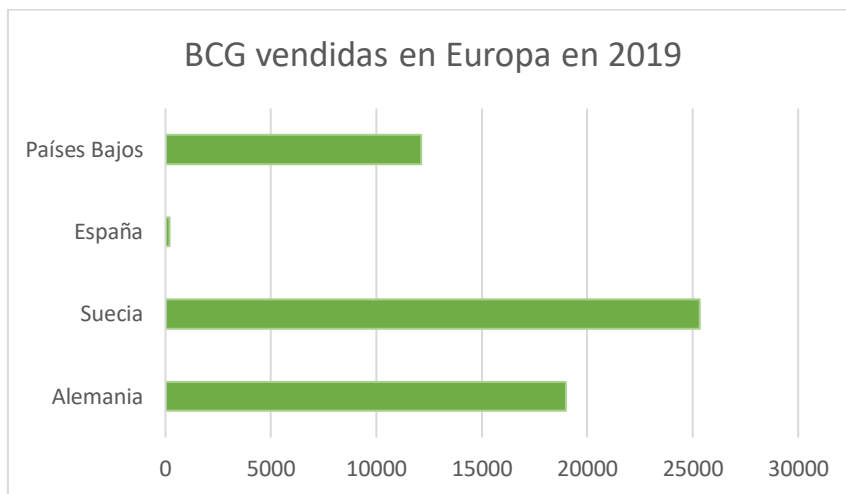


Gráfico 1: Comparación de bombas de calor vendidas en Europa en 2019. Datos obtenidos de piensageotermia.com

Como se puede observar en el gráfico 1 existe una diferencia abismal de las bombas de calor vendidas en España en comparación con otros países de nuestro entorno. Esto podría explicarse debido a la alta inversión inicial comparada con un equipo convencional. La inversión se encuentra en torno a los 18.000€ para una vivienda de 150 m². Aunque es un gasto considerable para una familia media, cabe destacar que el ahorro tanto energético como económico puede llegar al 70 % y el periodo de amortización suele ser de unos seis años.

Existen diversos proyectos de estudio actualmente donde se quiere apostar por la implantación de la primera central geotérmica en España para la producción de energía eléctrica. Existían varios proyectos que apuntaban a la implantación de 40 MW geotérmicos en el archipiélago canario. Sin embargo, se apuntaba dicha instalación para el año 2020, periodo que se ha incumplido. Por otro lado, existen otros proyectos como el de la localidad de Güïmar, que aseguraba implantar para el año 2018 la primera central geotérmica en España capaz de producir 4.000 GWh.

La energía geotérmica es la gran desconocida de todas las energías renovables. España es un país con enorme potencial geotérmico por explotar por lo que se prevé que en los próximos años la geotermia, como energía limpia, fiable, segura y muy eficiente, adopte una posición de mayor fuerza.

3 DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO Y ENTORNO

En este apartado se caracterizará el entorno del edificio, pasando por las condiciones climatológicas de la localización del edificio y las condiciones geológicas para el correcto diseño del intercambiador enterrado.

3.1 Ubicación del edificio

El edificio objeto del proyecto se corresponde con el ayuntamiento de la localidad de Vilamarxant, municipio de la provincia de Valencia, concretamente en la calle Dos de Mayo, 1, CP: 46191. Las coordenadas del edificio son las siguientes: 39° 34' 3" N 0° 37' 20" O.



Ilustración 9: Situación edificio objeto. Fuente: Google Maps.

La ilustración siguiente muestra la vista satélite del emplazamiento y su localización en rojo en la ilustración 10.



Ilustración 10: Vista satélite localización del Ayuntamiento. Fuente: Google Maps.

Como se ha comentado, el objetivo de este proyecto es la satisfacción de la demanda de climatización y de producción de agua caliente sanitaria mediante geotermia en el Ayuntamiento de Vilamarxant. Sin embargo, existe un edificio colindante al Ayuntamiento al que también se podría climatizar.

Ambos edificios se muestran en la imagen siguiente, lugar donde posteriormente habrá que diseñar el campo geotérmico. En rojo, el edificio principal donde se ubicará la sala de máquinas y para el que se hará el estudio térmico, y el amarillo el edificio al que se podría climatizar propiedad del Ayuntamiento.

Posteriormente se realizarán dos hipótesis para ver el diseño del intercambiador enterrado, cuya localización será en la misma plaza que se puede ver en la ilustración 11.



Ilustración 11: Localización de ambos edificios en la calle Dos de Mayo. Fuente: Google Maps.

3.2 Condiciones climatológicas

El clima de Vilamarxant se corresponde con un clima mediterráneo típico. En Vilamarxant los veranos son cálidos, húmedos y mayormente despejados. Los inviernos no son demasiado largos, son moderadamente fríos, ventosos y parcialmente nublados. Suele estar seco durante la mayor parte del año.

Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía desde los 4 °C a 32 °C y rara vez baja a menos de -1°C. La temporada calurosa dura en torno a 3 meses, en la cual la temperatura máxima promedio es de 31 °C y la mínima de unos 20 °C. La temporada fresca dura 3.8 meses, con temperaturas mínimas promedio de 4 °C y máximas de 15 °C.

Las temperaturas promedio se representan en la tabla 1.

Tabla 1. Temperaturas medias de Vilamarxant a lo largo del año. Fuente: Weatherspark.

Promedio	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Tmax (°C)	15	17	19	21	25	29	31	31	28	24	19	16
Tmed (°C)	9	10	13	15	19	23	26	26	23	18	13	10
Tmin (°C)	4	5	7	10	13	17	20	20	17	13	8	5

Viendo la tabla 1, se deduce que las necesidades de refrigeración podrían ser más grandes que las de calefacción, aunque en cualquier caso serán muy similares. Los resultados son típicos de un clima mediterráneo medio.

En la ilustración 12 se puede observar de forma más visual la variación de temperaturas durante el año:

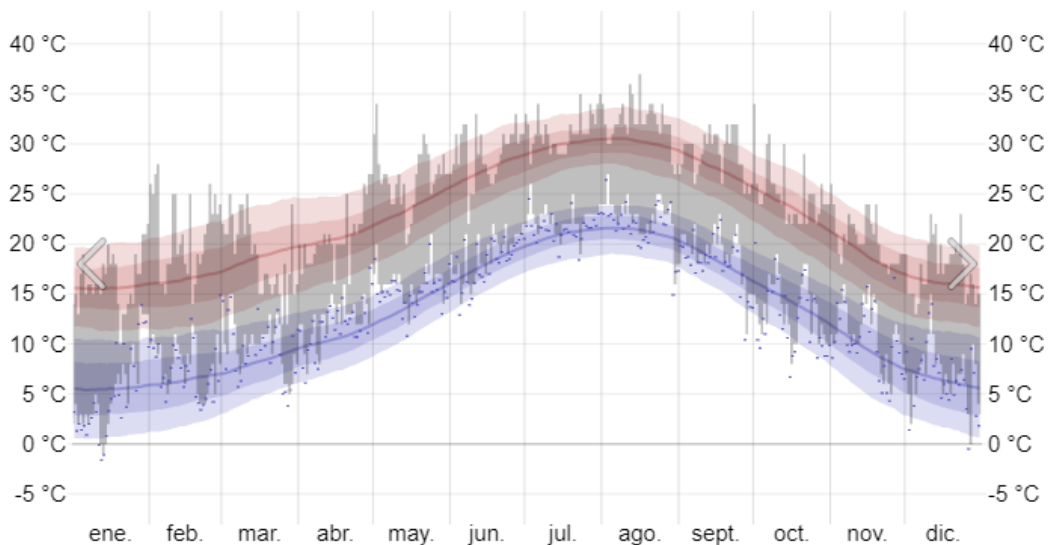


Ilustración 12: Evolución temperatura diaria Vilamarxant. Fuente: Weatherspark.

3.3 Condiciones geológicas y conductividad del terreno

Es de vital importancia conocer las características del terreno en el cual se encuentra el edificio objeto del proyecto. El tipo de terreno y los materiales que lo forman condicionarán la conductividad del mismo, y con ella la tipología del intercambiador enterrado. Para ver de que está compuesto el terreno, hay multitud de opciones disponibles en las que consultar los diferentes materiales de los que está hecho el suelo.

Para ello, se hace uso de un documento, propiedad de la diputación de Valencia, denominado “Auditoría Ambiental. Diagnóstico Técnico de Vilamarxant” en el que se puede consultar la descripción del medio en el municipio de Vilamarxant. El subsuelo en el que se encuentra todo el municipio está formado principalmente tanto por calcáreas (calizas y margas), como por rocas magnésicas (dolomías) y también por las relativamente escasas pero presentes rocas silíceas (rodenos) formadas hace aproximadamente 15 millones de años. Desde entonces y a causa de la erosión eólica e hídrica, se ha producido la sedimentación de distintos materiales que se han ido depositando en los valles, dando lugar a las rocas no consolidadas. Estas rocas son los cantos, limos y gravas, ampliamente presentes en las profundidades más superficiales.

Como resumen, se hace uso de la tabla 2, con el fin de describir las características del suelo donde se ubica el Ayuntamiento de Vilamarxant.

Tabla 2: Composición de las rocas que forman el terreno en el municipio de Vilamarxant. Fuente: Diagnóstico técnico de Vilamarxant. Diputación de Valencia.:

MATERIAL	TIPO DE ROCA
Limos	Rocas sedimentarias no consolidadas
Cantos, gravas y limos	
Cantos, gravas, arenas y arcillas	
Cantos, gravas, arenas y limos	
Cantos y graveras	
Dolomías	Rocas sedimentarias consolidadas
Calcáreas y margas	
Calcáreas	
Areniscas	
Arcillas, margas y yesos	
Margas	
Conglomerados	

Una vez se tienen las características del subsuelo, se deben localizar las conductividades térmicas de los diferentes materiales, para así realizar una estimación de las propiedades térmicas del terreno. Los materiales a partir de los que está formado el terreno se encuentran en diferentes cantidades.

Según el documento anteriormente citado y fuente de los datos, se encuentra el gráfico 2, donde se observan los componentes mayoritarios del terreno:

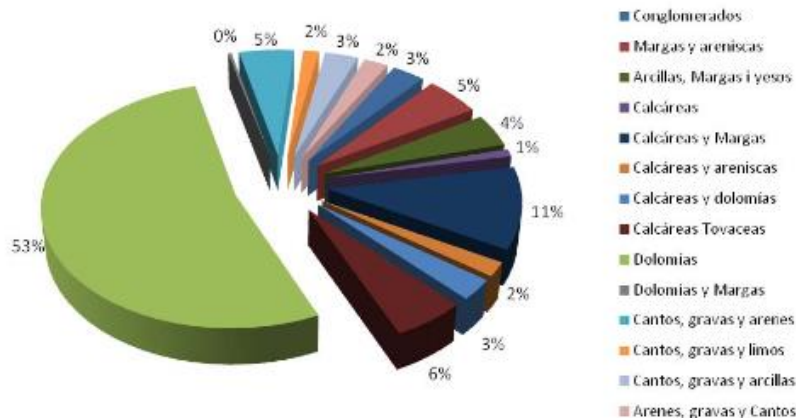


Gráfico 2: Composición del suelo y porcentaje respecto al total. Fuente: Diagnósis técnica de Vilamarxant. Diputación de Valencia.

Como se puede observar en el gráfico 2, la mayor parte del terreno está compuesto por dolomías (53 %), seguido a mucha distancia de rocas calcáreas y margas (11 %). Por último, teniendo todos los datos, se presentan en la tabla 3 tanto las conductividades térmicas de los materiales, como la capacidad térmica de los mismos, con el objetivo de dejar clara las características del terreno.

Tabla 3. Conductividad térmica de los materiales que conforman el subsuelo. Fuente: IGME

Material	Conductividad térmica (W/mK)	Capacidad térmica volumétrica MJ/(m ² K)
Arcillas y limos	1,1-3,1	2,0-2,8
Arena y gravas	1,0-1,9	2,2-2,6
Areniscas	1,9-3,5	1,8-2,6
Calcáreas	2,0-3,8	2,1-2,4
Conglomerados	1,3-5,1	1,8-2,6
Dolomías	1,6-5,0	2,1-2,4
Margas	1,1-2,9	1,5-2,5

Se han escogido datos de conductividades para arenas y areniscas húmedas, teniendo en cuenta la cercanía del cauce del río Turia y que el nivel freático será alto. **Sabiendo que la mayor parte del terreno está compuesto por dolomías (53 %) y rocas margas y calcáreas (11 %)**, haciendo una media aproximada y siendo conservador con los datos de conductividad y de capacidad térmica volumétrica del terreno se determinan los valores siguientes:

- **Conductividad térmica del terreno: 2,0 W/mK.**
- **Capacidad térmica volumétrica: 2,15 MJ/(m²K).**

Mediante los datos anteriores se puede obtener fácilmente la difusividad térmica del terreno, cuyo resultado es el cociente entre la conductividad térmica y la capacidad volumétrica:

- Difusividad térmica del terreno: $9,30 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$.

Cabe destacar que para el diseño definitivo se estimará la conductividad del terreno con métodos más exactos, como podría ser un test de respuesta térmica del terreno (TRT), ampliamente usado cuando se trata de diseños de altas potencias.

3.4 Oscilación térmica del terreno

A partir de una determinada profundidad el gradiente geotérmico se mantiene prácticamente constante y no está influido por las variaciones climatológicas del exterior. En este apartado se pretende estimar la variación de las temperaturas del terreno en función del día del año y la profundidad donde se evalúe. La fórmula que permite calcular esta variación es la siguiente:

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

Ecuación 1: Expresión de Kusuda y Achenbach para la variación de la temperatura del terreno.

Donde:

- T (z,t): Es el valor de la temperatura del terreno en función de la profundidad y el día del año. Es el valor que se pretende obtener.
- T_m: Se corresponde con la temperatura media del terreno. Como no se conoce este valor, se aproximará a la temperatura media anual de la localidad de Vilamarxant, cuyo valor es de 16.5 °C.
- A_s: Corresponde con la oscilación térmica en °C. Este valor se puede obtener gracias al apartado 3.2, donde se adjuntan las condiciones climatológicas de un año medio en Vilamarxant. Es la diferencia entre la temperatura máxima y mínima anual, cuyo valor es de 17 °C.
- t: Tiempo en días. Desde el 1 de enero al 31 de diciembre.
- t₀: es el desfase de la temperatura del suelo a una determinada profundidad respecto a la superficial: 35 días (valor estándar obtenido del análisis de Kusuda).
- α: Es la difusividad térmica del terreno en m²/día, calculada en el apartado 2.3 a partir de los datos obtenidos de la conductividad del suelo. El valor de difusividad es de 0.0568 m²/día.

Con todos los valores anteriores calculados correctamente y gracias a la herramienta de Excel se procede a graficar los resultados de la ecuación 1 en función de distintas profundidades tipo, teniendo en cuenta un terreno homogéneo y sin tener en cuenta el gradiente térmico.

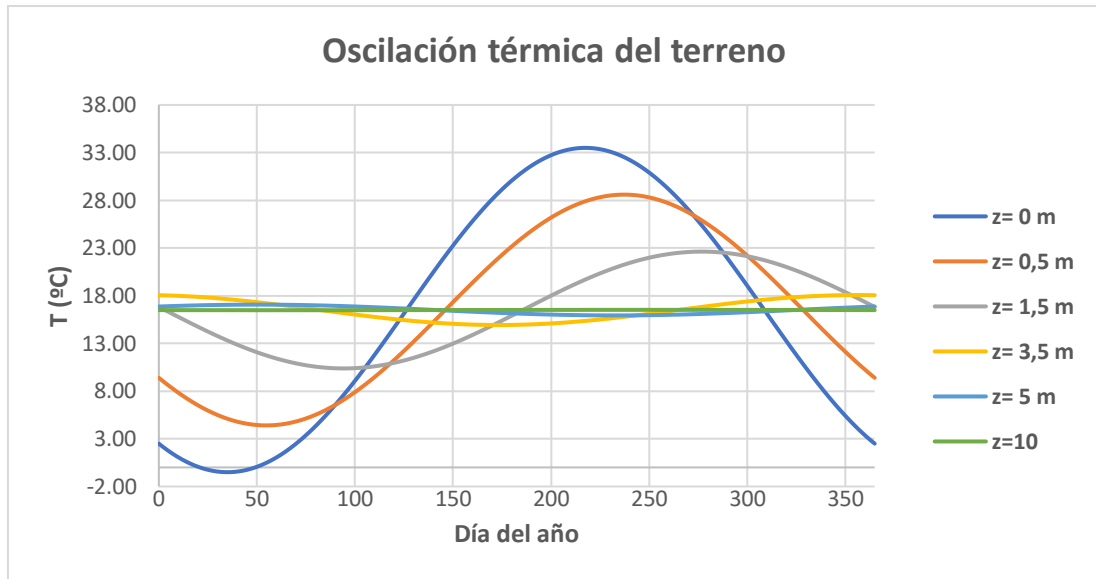


Gráfico 3: Oscilación térmica del terreno en función de la profundidad y el día del año. Fuente propia.

Como se observa en la gráfica 3 la temperatura del terreno a una profundidad de 10 m es prácticamente constante y no tiene en cuenta las variaciones climatológicas del exterior.

También se expone a continuación la evolución de las temperaturas máximas y mínimas por metro de profundidad hasta una profundidad total de 19 m a partir de la ecuación 2.

$$T(z) = T_0 \pm A_0 * e^{-z * \sqrt{\frac{\pi}{365 * \alpha}}}$$

Ecuación 2: Variación de la temperatura máxima y mínima en función de la profundidad.

Los resultados de la ecuación 2 en forma de gráfico mediante las herramientas que proporciona Excel quedan expuestas a continuación de este párrafo. Al igual que en el gráfico 2, no se tienen en cuenta los efectos del gradiente térmico, el cual indica un calentamiento de unos 0,03 °C/m de profundidad, ya que se consideran despreciables los efectos a tan poca profundidad.

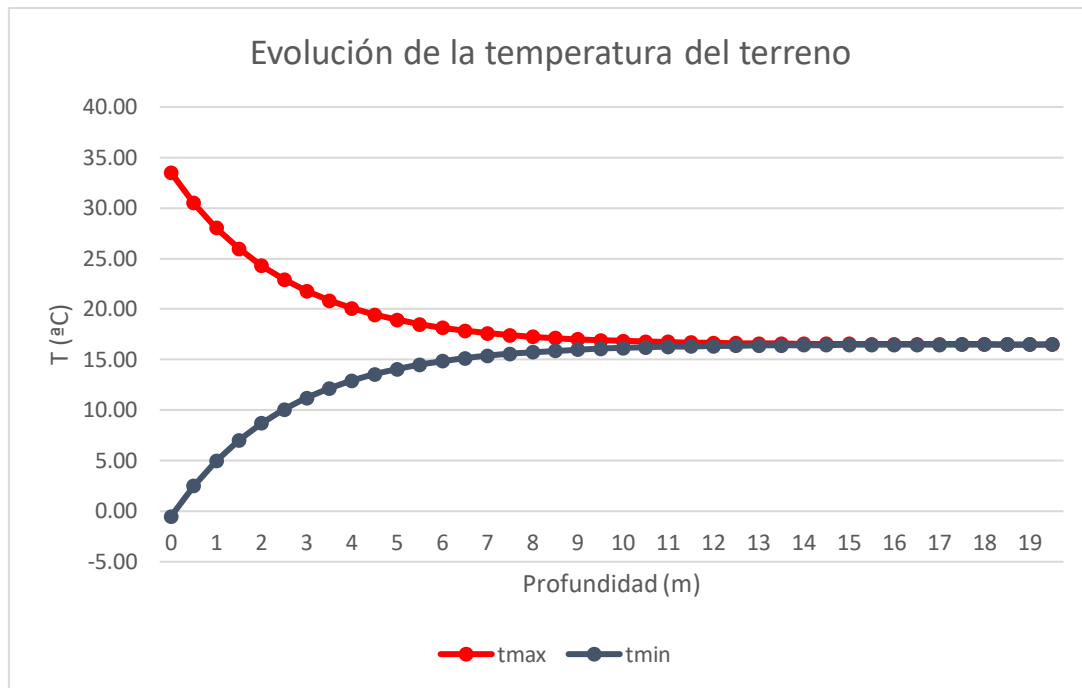


Gráfico 4: Evolución de tmax y tmin con la profundidad del terreno. Fuente propia.

En vistas del gráfico 4, a partir de una profundidad de unos 10 m aproximadamente, los efectos de las variaciones de las temperaturas en el exterior no influyen en la temperatura del terreno, que finalmente queda a una temperatura constante de 16,5°C en la ubicación establecida.

4 ESTUDIO ENERGÉTICO DEL EDIFICIO

En este apartado se caracterizará la demanda energética de climatización y de ACS a partir de diversos programas para posteriormente conocer las necesidades que deberá satisfacer la bomba de calor geotérmica del edificio.

4.1 Modelado en IFC Builder

IFC Builder es una aplicación gratuita de CYPE diseñada para la creación y mantenimiento de modelos IFC de edificios. De manejo relativamente sencillo y accesible, IFC Builder está integrado en el flujo de trabajo BIM, base de datos que permite utilizar el modelo IFC en multitud de programas con diversas aplicaciones.

La modelización del edificio se puede realizar mediante plantillas o dibujos en formato DWG. El uso de dichas plantillas agiliza mucho la implementación del edificio en el programa. Tras la obtención de los planos del edificio objeto, únicamente queda ir planta por planta definiendo los elementos de la envolvente y respetando siempre tanto la anchura de los diferentes cerramientos, como de las medidas tomadas en los planos por los arquitectos.

También se sitúan los huecos en sus respectivos sitios, teniendo en cuenta tanto su anchura como su altura. Siguiendo la misma metodología, se realiza la introducción de las puertas. El programa, además, proporciona la opción de una visión 3D integrada con la que se puede

observar cómo se está modelizando el edificio, y lo que es más importante, si es como el edificio que se quiere evaluar.

El edificio modelizado cuenta como es evidente con la reforma de rehabilitación energética propuesta, con el objetivo de calcular las cargas térmicas y su posterior demanda energética para poder diseñar el sistema de climatización de la forma más exacta posible.

A continuación, se adjuntan algunas capturas de comparación del edificio objeto real y su homólogo representado artificialmente mediante el programa IFC (ilustraciones 13 y 14).



Ilustración 13: Visión real Ayto. Vilamarxant



Ilustración 14: Modelado en IFC Builder del Ayto. Vilamarxant

4.2 Cálculo de cargas térmicas con CYPETHERM LOADS

El programa *CYPETHERM LOADS* permite calcular las cargas térmicas de los edificios según el Método de las Series Temporales propuesto por ASHRAE. Este procedimiento actualmente es el más utilizado para la estimación de las cargas térmicas.

Está también conectado a la base de datos de BIM por lo que el proyecto modelado en IFC Builder puede exportarse fácilmente aquí. El programa procesa y lee la definición realizada con el programa previo y pide ahora que se definan las transmitancias correspondientes a los diferentes elementos de la envolvente.

4.2.1 Modelado de los recintos

Para facilitar la lectura de los datos se agrupan por plantas los distintos recintos del modelo realizado. Los distintos recintos están definidos previamente en el programa IFC y agrupan salas según se desee.

La información que el programa precisa de los grupos de recintos, es decir, de cada planta, se utilizará para luego poder estimar las cargas térmicas correspondientes. La información a implementar pasa por la clasificación del recinto, por las temperaturas de confort de refrigeración y calefacción y por las ganancias internas de calor según se utilice cada recinto.

La información pedida en cada planta viene mostrada en la tabla 4, y son condiciones comunes a todas las plantas restantes, ya que todas tienen las mismas características.

Tabla 4. Clasificación y características de los recintos en IFC Builder.

Clasificación del recinto	Habitable
Condiciones de cálculo	Climatizado
Condiciones de climatización	
Calefacción	Refrigeración
21 °C	24 °C
Humedad relativa: 50 %	Humedad relativa: 50 %
Ganancias internas de calor	
Ocupación	Equipamiento interno
Ganancia calor sensible: 70 W/persona	Ganancia calor sensible: 10.80 W/persona
Fracción radiante: 0.6	Fracción radiante: 0.2
Ganancia de calor radiante: 45 W/persona	Ganancia de calor radiante: 0 W/persona

Las ganancias internas de calor son obtenidas a partir de la base de datos del programa teniendo en cuenta recintos de oficinas, que están teniendo una actividad ligera y una densidad de cargas media.

4.2.2 Definición de la envolvente térmica

- **Fachadas:**

Tabla 5. Capas de los muros de fachada.

Capas	Espesor (cm)
Mortero de cemento o cal para revoco/enlucido [$1000 < d < 1250$]	1,00
XPS expandido [0.034 W/mK]	3,00

Tabicón de LH triple [100 mm < E < 110 mm]	11,00
Cámara de aire	5,00
Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	7,00
Mortero de cemento o cal para revoco/enlucido [1000 < d < 1250]	1,00
Espesor total (cm)	28,00
Transmitancia térmica	
U (W/(m²/K))	0,60

- **Tabiquería:**

Tabla 6: Capas de los muros de tabiquería.

Capas	Espesor (cm)
Enlucido de yeso aislante [500 < d < 600]	2,00
Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6,00
Enlucido de yeso aislante [500 < d < 600]	2,00
Espesor total (cm)	10,00
Transmitancia térmica	
U (W/(m²/K))	1,64

- **Suelo en contacto con terreno:**

Tabla 7: Capas del muro de solera.

Capas	Espesor (cm)
Gres calcáreo [2000 < d < 2700]	1,00
Mortero de cemento o cal para revoco/enlucido [1000 < d < 1250]	1,00
Mortero de cemento o cal para revoco/enlucido [1250 < d < 1450]	5,00
Poliestireno de baja densidad [LPDE]	0,10
EPS-Grafipol TR-0 Impact [0.033 W/mK]	1,00
Hormigón armado [d>2500]	10,00
Poliestireno de baja densidad [LPDE]	0,10
EPS Hidrófobo [0.032 W/mK]	3,00
Espesor total (cm)	21,20
Transmitancia térmica	
U (W/(m²/K))	1,381

- **Cubierta**

Tabla 8: Capas de la cubierta.

Capas	Espesor (cm)
Betún fieltro o lámina	0,30
Betún fieltro o lámina	0,40
EPS-Donpol Azul [0.033 W/mK]	9,00

Poliestireno de baja densidad [LPDE]	0,10
FU Entevigado cerámico-Canto 300 mm	30,00
Espesor total (cm)	39,70
Transmitancia térmica	
U_{cal} (W/(m²/K)	0,31
U_{ref} (W/(m²/K)	0,30

- **Forjados entre pisos:**

Tabla 9: Capas del forjado entre pisos.

Capas	Espesor (cm)
Gres calcáreo [2000 < d < 2700]	1,00
Mortero de cemento o cal para revoco/enlucido [1000 < d < 1250]	1,00
Mortero de cemento o cal para revoco/enlucido [1250 < d < 1450]	5,00
Poliestireno de baja densidad [LPDE]	0,10
EPS-Grafipol TR-0 Impact [0.033 W/mK]	1,00
FU Entevigado cerámico-Canto 300 mm	30,00
EPS-Grafipol TR-32 [0.032 W/mK]	6,00
Mortero de cemento o cal para revoco/enlucido [1000 < d < 1250]	1,50
Espesor total (cm)	45,60
Transmitancia térmica	
Forjado superior e inferior	
U_{cal} (W/(m²/K)	0,35
U_{ref} (W/(m²/K)	0,33
Forjado expuesto a la intemperie	
U_{cal} (W/(m²/K)	0,35
U_{ref} (W/(m²/K)	0,36

- **Huecos**

Todos los huecos de vidrios y de puertas se han tomado como si tuvieran una conductividad típica. Para los vidrios se estima una conductividad de 2,50 W/m²K y un factor solar de 0,70. En lo referente a los huecos de las puertas se tomará por conductividad un valor idéntico de 2,50 W/m²K y un coeficiente de absorción de 0,60.

4.2.3 Cargas térmicas máximas

Del programa se obtienen las cargas máximas puntuales para calefacción y refrigeración. Estas cargas servirán para poder realizar la preselección de la bomba de calor, ya que tendrá que satisfacer dichas potencias pico.

Potencia máxima pico de calefacción: La carga térmica máxima ha sido calculada en el momento más desfavorable (día y hora) para calefacción con un valor de **66,898 kW**.

Potencia máxima pico de refrigeración: La carga térmica máxima ha sido calculada en el momento más desfavorable (día y hora) para refrigeración con un valor de **82,653 kW**.

4.3 Demanda energética de climatización

Con el fin de determinar la demanda energética horaria en un año tipo, se hace uso del programa CYPETHERM HE PLUS. Este programa es muy similar al anterior, pero este nos permite obtener el fichero energy plus. Gracias a este fichero y a su extrapolación a Excel, se podrán graficar correctamente la demanda energética por horas durante el año.

Antes de graficarlo se han de suponer varias cosas. En primer lugar, se aplica un coeficiente de minoración a la demanda de refrigeración durante el mes de agosto, ya que el Ayuntamiento no trabajará en condiciones normales debido al periodo estival y a las vacaciones de muchos de los trabajadores, además de las reducidas horas. Las demandas energéticas horarias de calefacción y de refrigeración se muestran en la ilustración 15.

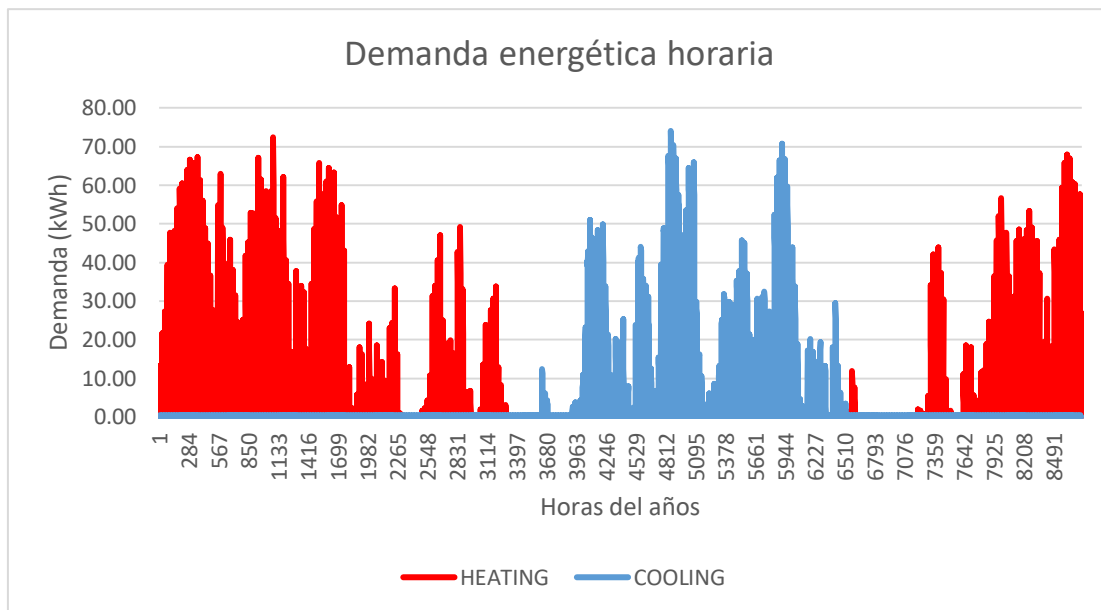


Ilustración 15: Demanda horaria anual del edificio objeto

Con los datos horarios se pueden obtener también los datos mensuales tanto de calefacción como de refrigeración, que nos servirán posteriormente para diseñar la longitud del intercambiador enterrado. Como se ha dicho anteriormente, para la determinación de la demanda energética prevista en agosto se ha escogido un coeficiente de ponderación del 70%, ya que en este mes y a causa del periodo estival, el Ayuntamiento de Vilamarxant no opera en régimen normal. Por otro lado, en el Ayuntamiento existe una sala de servidores que se ha de refrigerar en cualquier momento del año independientemente de los requerimientos de climatización. Dicha sala tendrá una demanda de 0,5 kW durante las horas de uso del edificio.

La demanda energética por meses se observa en la tabla 10.

Tabla 10: Demanda energética de calefacción y refrigeración por meses.

Meses	Demanda calefacción (kWh)	Demanda refrigeración (kWh)
Enero	8634,57	139,50
Febrero	5819,06	126,00
Marzo	4391,02	139,50
Abril	1484,35	135,00
Mayo	585,91	139,50
Junio	0,00	3323,61

Julio	0,00	7409,53
Agosto	0,00	4798,84
Septiembre	0,00	4088,63
Octubre	54,08	139,50
Noviembre	2379,08	135,00
Diciembre	7404,07	139,50
TOTAL	30.752,14	20.714,11

4.4 Demanda de ACS

La demanda de agua caliente sanitaria en la mayoría de las instalaciones es clave para un correcto diseño del sistema. En este proyecto, se tiene un edificio público el cual se considerará de oficinas. Esta clasificación ayudará para saber la demanda de agua caliente por persona y día según la tabla del Código Técnico de la Edificación (CTE HE-4). La demanda no será demasiado alta en comparación con las necesidades de climatización, por el simple hecho de que no es un edificio residencial y no se demandarán grandes cantidades de este recurso según el uso que se le ha proporcionado.

Tabla 11. Demanda de ACS según tipo de edificio. Fuente: CTE HE-4

Criterio de demanda	Litros/día*persona
Hospitales y clínicas	55
Ambulatorio y centro de salud	41
Hotel*****	69
Hotel****	55
Hotel***	41
Hotel/hostal**	34
Camping	21
Hostal/pensión*	28
Residencia	41
Centro penitenciario	28
Albergue	24
Vestuarios/Duchas colectivas	21
Escuelas sin ducha	4
Escuela con ducha	21
Cuarteles	28
Fábricas y talleres	21
Oficinas	2
Gimnasios	21
Restaurantes	8
Cafeterías	1

El edificio objeto de este proyecto se calificará según un edificio de oficinas. Según la tabla 11, se deberá satisfacer una demanda de 2 L/persona y día a una temperatura de referencia de 60 °C.

Al no ser un edificio residencial no se sabe la cantidad de personas que se encontrarán en el propio edificio. Para saberlo, se hace uso del DB SI del CTE (Documento Básico de Seguridad) en la tabla 2.1. "Densidades de ocupación". Para un edificio de oficinas como en el caso de este

proyecto se asumen 10 m²/ persona. Sabiendo que el edificio tiene 1090 m² de superficie total útil se tiene una densidad de alrededor de 109 personas. Por lo tanto, multiplicando las 109 personas por los 2 L/persona y día, proporcionan una demanda de 218 L/día de agua caliente sanitaria.

Ahora bien, esta es la demanda que se debería satisfacer teniendo en cuenta que se produjera a 60 °C. En este proyecto se toma una demanda de ACS tipo a 45 °C, ya que únicamente se precisará de ACS para los grifos de los baños al no haber duchas, por lo que se tendrá que hacer la correspondiente corrección mediante la ecuación 3. Se requerirán tratamientos de desinfección y eliminación de la Legionella. Según el Decreto 173/2000 se requerirá la realización de la desinfección y eliminación del agua acumulada dos veces cada año. Por otra parte, se dispondrá de una resistencia eléctrica capaz de elevar la temperatura del agua lo suficiente como para garantizar que la bacteria no aparezca.

$$D (45^{\circ}C) = D (60^{\circ}C) * \frac{60 - T_{RED}}{45 - T_{RED}}$$

Ecuación 3: Corrección de la demanda de ACS para 50 °C.

Donde:

- D (60 °C) es la cantidad de ACS que se ha sacado a partir de la tabla anterior.
- T_{RED} viene dada por la tabla a-Anejo G que contiene la temperatura diaria media mensual (°C) del agua fría de red para las diferentes capitales de provincia. En este caso, por cercanía se escogerá la ciudad de Valencia.

Una vez calculada la demanda de ACS para la temperatura correspondiente, se debe calcular la potencia necesaria para obtenerla. Para ello, se hace uso de la siguiente expresión:

$$P_{ACS} = m_{agua} * C_p * (45 - T_{RED})$$

Ecuación 4: Cálculo de la potencia necesaria para ACS.

Donde:

- m_{agua} será la cantidad de agua calculada a 45 °C en la ecuación 4 en l/s.
- C_p es el calor específico del agua, cuyo valor es 4.18 kJ/kg*K.

Haciendo los cálculos mensuales y anuales finalmente se obtiene la tabla 12.

Tabla 12: Demanda energética de ACS por meses en kWh.

Meses	D 45°C (L/día)	T _{RED} (°C)	Demanda ACS (kWh)
Enero	311,43	10	392,34
Febrero	314,18	11	347,28
Marzo	317,09	12	376,65
Abril	320,19	13	356,90

Mayo	327,00	15	353,11
Junio	334,79	17	326,53
Julio	343,77	19	321,72
Agosto	174,40	20	156,94
Septiembre	339,11	18	318,93
Octubre	330,76	16	345,26
Noviembre	320,19	13	356,90
Diciembre	314,18	11	384,49

4.5 Resumen del estudio energético

Para facilitar el diseño del intercambiador y la elección de la bomba de calor geotérmica se reúnen los siguientes datos correspondientes al estudio energético al completo, reunidos en la tabla 13.

Tabla 13: Demanda energética por meses y total del edificio.

Meses	Demanda calefacción (kWh)	Demanda refrigeración (kWh)	Demanda ACS (kWh)	Calefacción + ACS (kWh)
Enero	8634,57	139,50	392,34	9026,91
Febrero	5819,06	126,00	347,28	6166,34
Marzo	4391,02	139,50	376,65	4767,67
Abril	1484,35	135,00	356,90	1841,25
Mayo	585,91	139,50	353,11	939,02
Junio	0,00	3323,61	326,53	326,53
Julio	0,00	7409,53	321,72	321,72
Agosto	0,00	4798,84	156,94	156,94
Septiembre	0,00	4088,63	318,93	318,93
Octubre	54,08	139,50	345,26	399,34
Noviembre	2379,08	135,00	356,90	2735,98
Diciembre	7404,07	139,50	384,49	7788,56
TOTAL	30752,14	20714,11	4037,05	34789,19

Las potencias pico máximas para calefacción y refrigeración expuestas anteriormente en modo de tabla son las expuestas en la tabla 14.

Tabla 14: Potencias pico de calefacción y refrigeración.

Potencias pico del edificio	
Calefacción	66,898 kW
Refrigeración	82,653 kW

Finalmente, y para concluir con el estudio energético, se implementa el gráfico completo de la energía demandada por meses sumando el ACS. Como se puede observar, la energía requerida para agua caliente sanitaria es muy pequeña comparada con la demanda de calefacción y refrigeración, hecho que se explica al ser un edificio de uso no residencial.

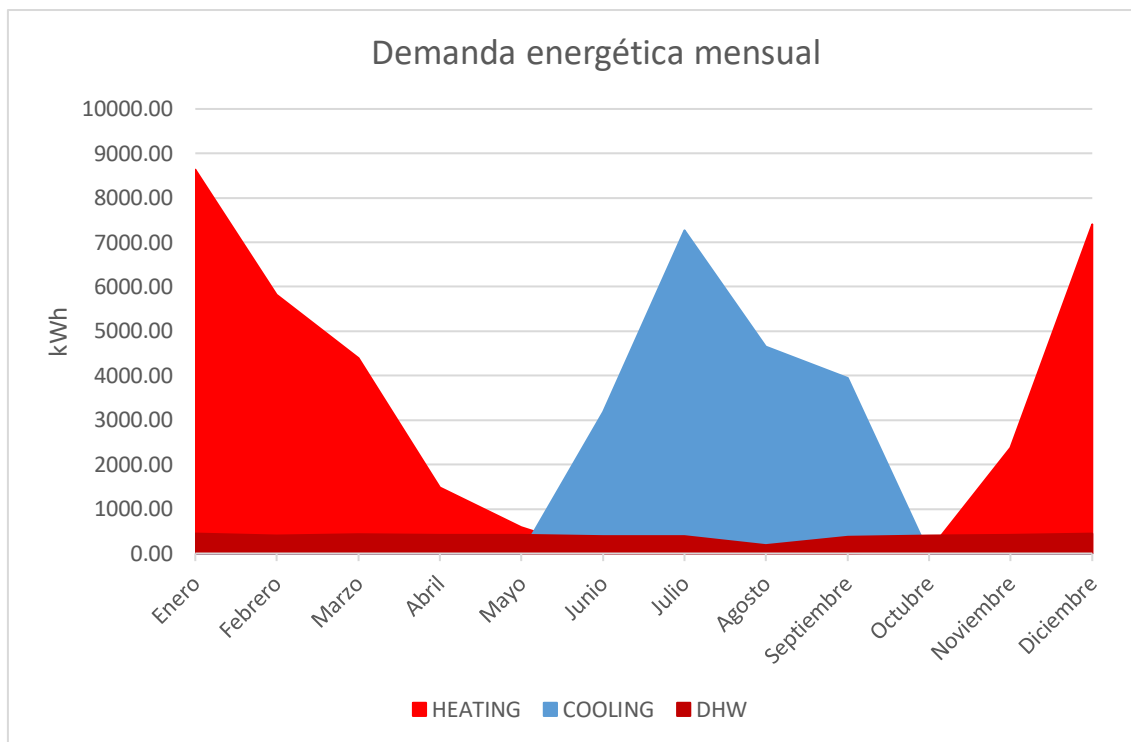


Ilustración 16: Demanda energética TOTAL del edificio por meses.

5 DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR ENTERRADO

El diseño del intercambiador enterrado es crucial para conseguir unos rendimientos óptimos en la instalación. El intercambiador enterrado es el elemento de la instalación que se encargará de aportar o de disipar energía, en forma de calor o frío, para poder satisfacer las diferentes demandas que tendrá el edificio, por ello, es de vital importancia ejecutar un correcto diseño del intercambiador completo.

En este proyecto existen dos hipótesis principales que se deben considerar. El objetivo principal del mismo es satisfacer la demanda de climatización y ACS para el edificio principal, que será el Ayuntamiento de Vilamarxant, tal y como se ha expuesto en numerosas ocasiones durante esta memoria y que será la hipótesis 1 de diseño del intercambiador. Por otro lado, existe un edificio colindante al edificio principal, con una superficie de alrededor de 350 m² para el que también se baraja la posibilidad de climatizarlo mediante geotermia, siendo esta segunda opción la hipótesis 2 de diseño del intercambiador.

En resumidas cuentas, la **hipótesis 1** tendrá en cuenta el diseño del intercambiador para el edificio principal, es decir, **únicamente el Ayto. de Vilamarxant** y en la **hipótesis 2** se añadirá al estudio anterior un **edificio colindante** propiedad del Ayuntamiento, para el que también se plantea la climatización por geotermia.

5.1 Configuración empleada

Como se expuso en el punto 2.2 de esta memoria existen varias configuraciones disponibles a la hora de realizar el diseño del intercambiador enterrado. En primer lugar, se descarta el sistema de bucle abierto, pues requeriría de estudios más exhaustivos del terreno acerca del nivel

freático o de las condiciones de las aguas subterráneas, además de requerir de los pertinentes estudios ambientales. Dentro de las configuraciones de intercambiadores de bucle cerrado, se descartan las de bucle horizontal. Como se expuso, requieren de profundidades menores lo que ahorraría costes, pero requerirían superficies inmensas para la potencia que demanda el edificio. Se opta pues por la configuración vertical, que como se sabe requerirá de unos costes de perforación más elevados, pero que permitirán alcanzar rendimientos buenos y menos superficie ocupada por el campo geotérmico.

Para las potencias que se deben satisfacer y con el objetivo de hacer un estudio y una simulación más precisa, se utilizará el programa de cálculo Earth Energy Designer (EED) y no se calculará mediante métodos aproximados.

5.1.1 Hipótesis 1: Campo geotérmico para el edificio principal (Ato. Vilamarxant)

Para la primera hipótesis a considerar, **se ejecutarán 10 perforaciones de 100 metros de profundidad cada una, con un diámetro de 0,11 m, separadas unos 7 metros una de la otra**, introduciendo una sonda geotérmica tipo **U simple** y sellando el hueco existente en hueco y tuberías con relleno térmico de conductividad 2,2 W/mK. Estas sondas serán dispuestas en paralelo con el objetivo de que el fluido caloportador que circule por los boreholes tenga unas pérdidas de carga similares en todos ellos, garantizando pues que circule el mismo caudal por todos ellos.

Las tuberías por las que circulará el fluido caloportador serán de **polietileno (PE 100) de alta densidad**. Si bien es cierto que la conductividad térmica de los plásticos no es tan elevada como la de los metales, presentan propiedades mecánicas elevadas y una buena resistencia a la corrosión, dotando a las tuberías de una larga vida útil de uso.

Por otra parte, este tipo de plásticos posee un amplio rango de temperaturas a las que es capaz de operar, en concreto entre -20°C y 30°C.

A continuación, se resumen las características de las tuberías, así como de los parámetros más relevantes de las perforaciones:

- | | |
|--|-----------|
| • Tipo de instalación de la tubería: | Single-U |
| • Diámetro de la tubería en U: | 0,032 m |
| • Espesor de la tubería en U: | 0,003 m |
| • Diámetro de perforación: | 0,110 m |
| • Distancia entre perforaciones: | 7 m |
| • SDR de la tubería: | 11 |
| • Conductividad térmica de la tubería: | 0,42 W/mK |
| • Conductividad térmica del relleno: | 2,2 W/mK |

La disposición del intercambiador enterrado será en **dos filas de 5 perforaciones de 100 m cada una (2 x 5)**. El esquema, junto con las medidas correspondientes de ocupación del campo geotérmico son las siguientes:



Ilustración 17: Distribución del campo geotérmico para la hipótesis 1.

Como se puede observar en la ilustración 17, las 10 perforaciones de 100 m cada una, correspondientes al estudio de la hipótesis 1 ocuparan una superficie total que rondará los 196 m².

5.1.2 Hipótesis 2: Campo geotérmico para el edificio principal (Ayto. Vilamarxant) y edificio colindante

Esta hipótesis es un estudio preliminar y es estimativo. Se ha diseñado con el objetivo de tener orden de magnitud si al final se decide instalar climatización en este segundo edificio. Evidentemente, por cuestiones lógicas y para que la bomba de calor trabaje bien, el campo de perforaciones ha de ser mayor. En cualquier caso, este campo geotérmico sirve de aproximación. La sala de máquinas, al igual que la bomba, permite la instalación de varias BCG en cascada, por lo que si en un futuro se quiere ampliar la instalación siempre será posible.

Para esta segunda hipótesis, como se ha comentado antes, ha de ampliarse el campo de perforaciones geotérmicas. Para este estudio, se proponen **14 perforaciones de 100 metros cada una, separación entre perforaciones de 7 metros, diámetro de perforación de 0,110 m** y sonda geotérmica tipo **U simple**. La tubería, al igual que el otro intercambiador, será del mismo material, es decir, de **polietileno (PE 100)** de alta densidad.

La disposición del intercambiador enterrado ahora será en **dos filas de 7 perforaciones de 100 m cada una (2 x 7)**. El esquema, junto con las medidas correspondientes de ocupación del campo geotérmico son las siguientes:

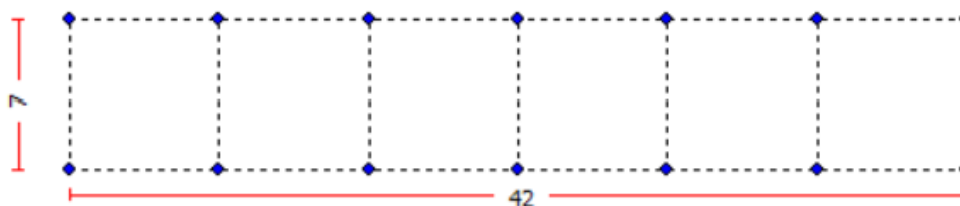


Ilustración 18: Distribución del campo geotérmico para la hipótesis 2.

En vista de la ilustración 18, ahora se requerirá más área disponible, significando una superficie de 294 m².

5.2 Fluido caloportador

El fluido caloportador es aquel que será el encargado de circular por los pozos geotérmicos y de absorber o de disipar energía con el terreno en función del modo de funcionamiento de la bomba de calor geotérmica.

Como fluido caloportador se ha elegido agua, siempre y cuando se garantice en la captación, unas temperaturas que nunca sean inferiores a 8 °C para evitar problemas. Las propiedades más significativas del agua pura son las siguientes:

- Conductividad térmica k: 0,57 W/mK
- Calor específico: 4202 J/KgK
- Densidad: 1000 kg/m³
- Viscosidad: 0,0015 Kg/(ms)
- Punto de congelación: 0°C

La utilización de mezclas de agua y etilenglicol en los intercambiadores enterrados radica en la reducción del punto de congelación del fluido y así permitir utilizarlo en situaciones o climas donde se utilicen temperaturas bajas. Un congelamiento del fluido caloportador inutilizaría la instalación por completo mientras el mismo esté congelado, y además, habrían multitud de elementos de la instalación sujetos a numerosos esfuerzos que se deben evitar a la hora de un correcto diseño. Un punto de congelación bajo con una mezcla agua + etilenglicol significa una pérdida también de conductividad térmica y una consecuente pérdida de rendimiento. También se debe añadir el aumento de viscosidad, que produciría un aumento de las pérdidas de carga del fluido y la necesidad de la instalación de bombas de circulación más potentes en la captación. Además, cuando se tienen mezclas de agua + etilenglicol en la captación, se ha de independizar el circuito de mezcla con el de agua pura mediante intercambiadores de placas, que además de producir más pérdidas de carga, disminuyen los rendimientos de la instalación.

Por todas estas razones, y porque el fluido nunca bajará de 8 °C tal y como se ha comentado previamente, se procede a la selección de agua pura como fluido caloportador.

5.3 Simulación del comportamiento del intercambiador enterrado con el programa Earth Energy Designer (EED)

El programa Earth Energy Designer (EED) es un programa informático que permite diseñar la configuración de intercambiadores geotérmicos verticales. El programa es sencillo de utilizar, tiene periodos de cálculo rápidos y numerosas bases de datos que hacen al EED una herramienta muy útil para diseñar sistemas de intercambio de calor para bombas de calor geotérmicas. Dentro de todas las herramientas complejas que EED proporciona está la posibilidad de aproximar la cantidad de perforaciones que se precisarán, su tamaño y la disposición de las mismas, antes de iniciar análisis más detallados. EED maneja configuraciones desde una perforación hasta 1200 y que además permite la incorporación de demandas energéticas anuales o mensuales.

Los desarrolladores del programa EED son los siguientes:

- Dr. Thomas Blomberg, Blocon.
- Prof. Johan Claesson. Departamento de física en la construcción. Universidad Chalmers, Suecia.
- Dr. Per Eskilson. Departamento de físicas matemáticas. Universidad de Lund, Suecia.

- Prof. Göran Hellström, Departamento de físicas matemáticas. Universidad de Lund, Suecia.
- Dr. Burkhard Sanner, Alemania.

En primer lugar, se introducirán en el programa las características del terreno que se estimaron en el apartado 2.3 de esta memoria: Condiciones geológicas y conductividad del terreno. Los primeros datos a introducir en el EED son los siguientes:

- Conductividad térmica del terreno: 2 W/mK
- Capacidad térmica volumétrica: 2,16 MJ/m³K
- Temperatura media del terreno: 17 °C
- Flujo de calor geotérmico: 0,06 W/m²

Posteriormente, se añaden los datos de las demandas energéticas mensuales de calefacción + ACS, refrigeración y las potencias pico de calefacción y de refrigeración que se obtuvieron en el punto 3 de la presente memoria.

Con los datos anteriores y la elección de 25 años como periodo de simulación, se inicia el cálculo del intercambiador enterrado mediante cálculos analíticos y mediante las bases de datos de las que dispone el programa. Éstas, determinarán las temperaturas medias del fluido caloportador para la **hipótesis 1**, que se exponen en la tabla 15.

Tabla 15: Temperaturas mínimas y máximas medias del fluido caloportador para la hipótesis 1.

AÑO 25	Temperatura fluido mínima (°C)	Temperatura fluido máxima (°C)
Enero	7,85	17,10
Febrero	7,63	17,10
Marzo	8,81	17,30
Abril	12,30	17,50
Mayo	14,00	20,00
Junio	17,60	30,20
Julio	18,30	34,00
Agosto	19,10	28,60
Septiembre	18,70	33,00
Octubre	17,80	19,00
Noviembre	11,70	18,60
Diciembre	8,80	17,80

Como puede observarse en la tabla 8 y con los datos de las temperaturas máximas y mínimas medias del fluido caloportador se obtienen los valores pico resumidos a continuación:

- **Temperatura mínima media del fluido: 7,63 °C**
- **Temperatura máxima media del fluido: 34,00 °C**

Según lo visto anteriormente, la temperatura mínima media se alcanzará en el mes de enero coincidiendo con la demanda máxima de calefacción. Cabe destacar que han pasado 25 años desde la instalación y que se asemeja al valor mínimo de 8 °C para el cual se había diseñado el circuito de captación para no usar mezcla agua + etilenglicol en el mismo.

Por otra parte, la temperatura máxima media del fluido la encontramos en el mes de julio. El valor en agosto es ligeramente más bajo debido al no uso completo de las instalaciones por el

periodo estival. La temperatura máxima media del fluido, indica que la bomba seguirá trabajando en un rango de temperaturas adecuado.

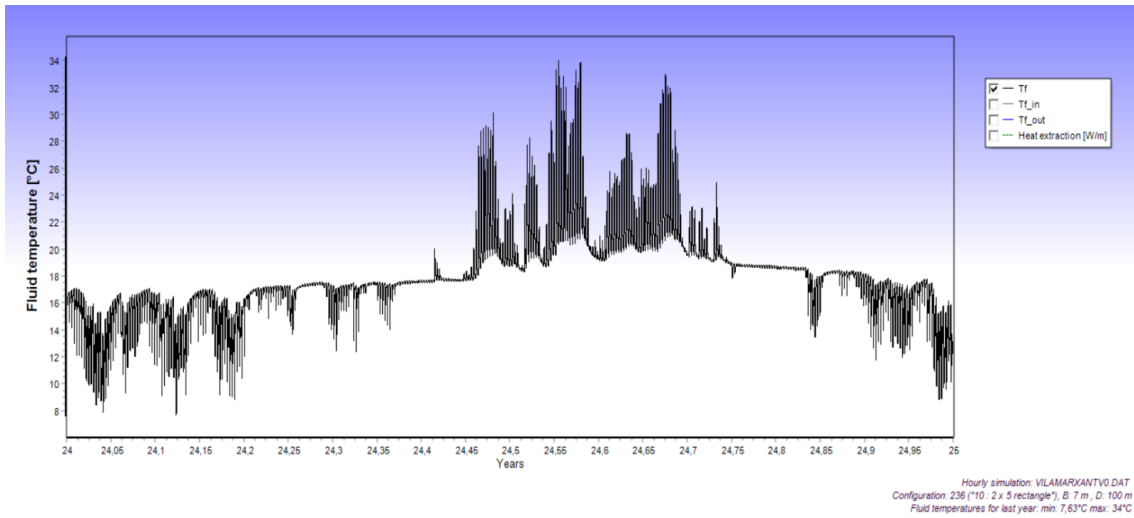


Ilustración 19: Temperaturas medias del fluido durante el último año de simulación para la hipótesis 1.

Por otro lado, para la realización de la segunda de las hipótesis, se tienen que tener en cuenta algunos factores. El edificio añadido a la instalación, con una superficie de alrededor de 350 m², representa aproximadamente un tercio de la superficie total del edificio principal (1090 m²). Para tener una estimación de las temperaturas en el intercambiador enterrado, se pondera la demanda energética del edificio principal multiplicándola por 1,35, de tal manera que se pueda obtener la simulación estimativa de la hipótesis de estudio.

Realizando entonces, con las consideraciones anteriores, la simulación del intercambiador enterrado propuesto para la **hipótesis 2**, se obtienen las siguientes temperaturas máximas y mínimas medias del fluido caloportador:

Tabla 16: Temperaturas máximas y mínimas medias del fluido para la hipótesis 2.

AÑO 25	Temperatura fluido mínima (°C)	Temperatura fluido máxima (°C)
Enero	7,79	17,10
Febrero	7,54	17,10
Marzo	8,73	17,30
Abril	12,20	17,50
Mayo	13,90	20,00
Junio	17,50	30,10
Julio	18,20	34,00
Agosto	19,00	28,60
Septiembre	18,70	33,00
Octubre	17,70	18,90
Noviembre	11,60	18,50
Diciembre	8,73	17,80

Los datos de la tabla 9, que representan la simulación de la hipótesis 2, reflejan los resultados siguientes:

- **Temperatura mínima media del fluido:** **7,54 °C**
- **Temperatura máxima media del fluido:** **34,00 °C**

Los datos de la simulación del intercambiador enterrado se observan en la ilustración 20.

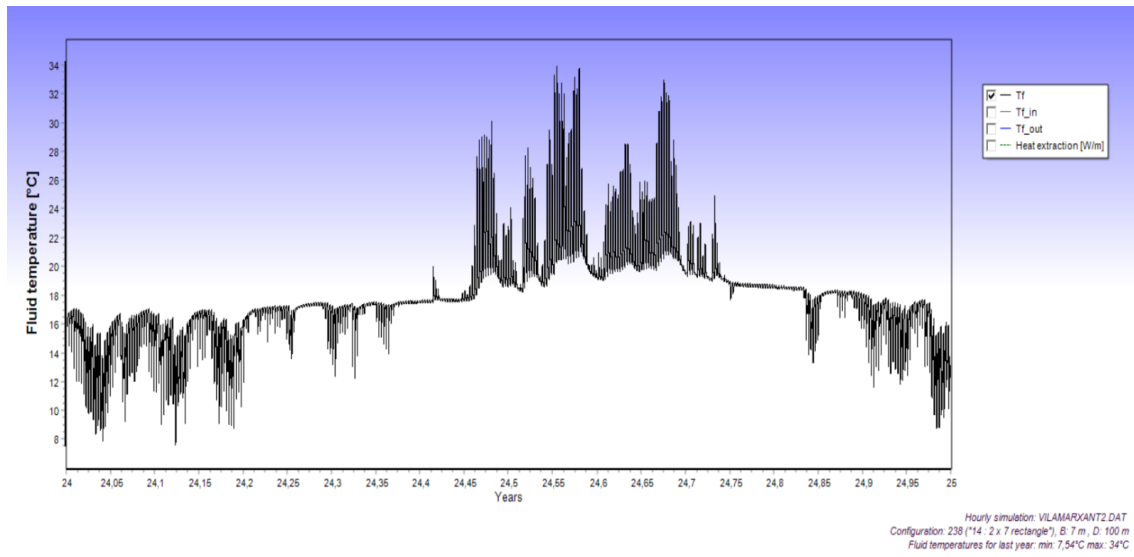


Ilustración 20: Temperaturas medias del fluido durante el último año de simulación para la hipótesis 2.

6 DISEÑO DE LA SALA DE MÁQUINAS

En este apartado se diseñarán los diferentes elementos que conformarán la sala de máquinas, así como los subcomponentes de los que estarán formados los elementos principales. Los más importantes son: bomba de calor, fluido refrigerante, compresor, bombas de circulación y depósitos de inercia y expansión.

El objetivo es que esta sala sea visitable, con el objetivo de promocionar la geotermia y ver los elementos más destacables que conforman la instalación geotérmica.

6.1 Bomba de calor geotérmica y prestaciones

La bomba de calor es el equipo más importante de un sistema de climatización de cualquier tipo. En los últimos años, este tipo de dispositivos ha experimentado una evolución muy importante que aún está en marcha, dando lugar a instalaciones cada vez más baratas y eficientes.

El elemento clave, tal y como se ha indicado, es la bomba de calor geotérmica (BCG), y genera calor y frío según las necesidades del edificio que se quiera climatizar. Esta unidad requiere en su funcionamiento de un medio externo para intercambiar calor, que, en el caso de la geotermia, es el propio terreno. Las temperaturas más habituales del terreno en España oscilan entre los 16-22°C, lo que lo convierte en el medio más idóneo con el que intercambiar energía en forma de calor.

Para poder realizar la elección de la bomba de calor geotérmica se tiene que poner el foco de atención principalmente en las potencias pico de calefacción y de refrigeración obtenidas previamente en el punto 3 de esta memoria, en el estudio energético del edificio objeto de proyecto. Se recuerda que, dichas potencias pico, representan la carga térmica máxima más desfavorable para calefacción y para refrigeración. Por lo tanto, con el objetivo de asegurar un buen funcionamiento de la instalación, **se debe garantizar que la potencia que posea la bomba satisfaga dichas cargas térmicas máximas pico**. Si se cubren esas necesidades máximas, se estará cubriendo por tanto el momento más desfavorable, y el resto del tiempo, la bomba trabajará con una velocidad de giro del compresor menor. Del análisis del estudio energético del edificio en el punto 3 de esta memoria se desprenden las cargas térmicas pico de calefacción y de refrigeración, que son **66.90 kW** y **82.65 kW** respectivamente. Como se puede observar, la carga térmica más desfavorable es la de refrigeración, con **82.65 kW**, por lo que éste será el requisito mínimo con el que proceder a la selección de la bomba de calor geotérmica.

La bomba de calor geotérmica de esta instalación será de la marca Ecoforest, cuyo grupo nació en Vigo en la década de los 60. Actualmente es el único fabricante español de este producto y tiene amplia experiencia en sistemas de calefacción renovables. La bomba que se ha seleccionado para el proyecto es la **ecoGEO⁺ HP1 25-100** (ilustración 21). Dicha bomba está capacitada para producir frío y calor simultáneo, y se ha elegido por requerimientos de la propia instalación para satisfacer la demanda de refrigeración en la sala de servidores del Ayuntamiento. Dentro del catálogo de la marca, esta es una de las bombas dentro de la gama de alta potencia, que permite reducir los consumos de energía hasta en un 80% mediante el uso de una fuente de energía renovable.



Ilustración 21: BCG 25-100. Fuente: Ecoforest

Las características más relevantes se especifican a continuación:

- Tecnología inverter y compresor Scroll y producción simultánea de calefacción y de refrigeración-
- **Rango de modulación del compresor:** 25 a 100 %, pudiendo variar la velocidad del propio compresor dependiendo de la demanda para garantizar un consumo energético óptimo.
- **Potencia de calefacción:** 21,1-86,7 kW, cumpliendo con la carga térmica máxima de calefacción del edificio de 66,90 kW.
- **Potencia de refrigeración activa:** 22,3-90,3 kW, cumpliendo también con la carga térmica máxima de refrigeración del edificio de 82,65 kW.
- **COP** (rendimiento de la bomba en modo calefacción BOW35) de 4,5 y **EER** (rendimiento de la bomba en modo refrigeración B35W7) de 4,6.
- **Temperatura de ACS (sin apoyo/con apoyo):** 60/70 °C.
- **Fluido refrigerante:** El fluido refrigerante es **el R410A**.
- Altura x ancho x profundidad: 1063mm x 950mm x 886mm.
- Peso: 350 kg.
- Alimentación eléctrica **trifásica** (400 V).

- Consumo eléctrico máximo, BOW35 (kW/A): 20,3 kW /31,8 A.
- Consumo eléctrico máximo, BOW55 (kW/A): 29,6 kW /45,1 A.
- Contadores de energía integrados para consumo eléctrico, producción térmica de calor/frío y rendimientos instantáneos, estacionales y mensuales.
- Nivel de potencia acústica: 59-72 dB.

Los rangos de temperaturas y de presión con los que trabaja la bomba de calor geotérmica (BCG) son los siguientes:

• Rango de temperaturas de calefacción:	10 a 60	°C
• Rango de temperaturas de refrigeración:	5 a 35	°C
• Rango de temperaturas de captación en calefacción:	-20 a 35	°C
• Rango de temperaturas de disipación en refrigeración:	10 a 60	°C
• Presión del circuito de refrigerante máxima/mínima:	2/45	bar
• Presión circuito de producción:	0,5 – 5,0	bar
• Presión circuito de captación:	0,5 – 5,0	bar

6.1.1 Compresor

El compresor es el elemento de la bomba de calor geotérmica cuyo objetivo es aumentar la presión del fluido refrigerante para favorecer temperaturas de cambio de fase adecuadas y de este modo propiciar la transmisión de calor en el foco caliente sin variar la temperatura. La bomba de calor seleccionada utiliza un **compresor de tipo Scroll** con tecnología **inverter, que permite la variación de la velocidad de giro del mismo desde un 25 hasta el 100 %**, siendo una ventaja excepcional a la hora de poder disminuir el consumo eléctrico de la instalación una vez llegados a unas temperaturas de confort adecuadas para los usuarios.

Este elemento despierta gran interés dentro de toda la instalación, ya que es el principal consumidor de energía, y es sobre el que se deberá actuar en caso de aumentar la eficiencia o disminuir el nivel sonoro. Este tipo de compresores son la solución perfecta para satisfacer las elevadas expectativas actuales en materia de eficiencia energética de los sistemas de climatización. El compresor Scroll para bombas de calor además funciona con un bajo nivel de ruido gracias a un arranque y funcionamiento silenciosos que mejorarán el confort general.

Por último y para garantizar un buen funcionamiento del mismo se debe asegurar una perfecta lubricación. El compresor de la bomba de calor geotérmica seleccionada será del tipo **POE** (aceite de tipo poliéster sintético) especialmente formulado para la lubricación de compresores para climatización. **La carga total de aceite en el compresor será de 6,7 kg** según las especificaciones técnicas que proporciona el fabricante Ecoforest.

6.1.2 Fluido de trabajo

El fluido de trabajo o refrigerante es aquel elemento del sistema encargado de transferir la energía en forma de calor desde el foco caliente al foco frío. La transferencia de calor se hará mediante dos métodos: mediante el intercambio de calor sensible calentando o enfriando dicho refrigerante y mediante el intercambio de calor latente, asociado al proceso de cambio de fase del fluido. Es importante que el refrigerante trabaje dentro de unos rangos de temperaturas en los que se favorezca el cambio de estado del fluido de líquido a gas en el evaporador y de gas a

líquido en el condensador. Por ello, es de vital importancia tener en cuenta las propiedades termodinámicas del fluido.

La bomba de calor seleccionada para trabajar en el edificio es la **ecoGEO⁺ HP 25-100** de la marca Ecoforest. Este tipo de bombas de calor geotérmicas, tal y como lo dicen las especificaciones del fabricante, trabaja con el fluido refrigerante R410A. Este refrigerante es una mezcla casi azeotrópica de dos gases HFC o hidrofluorocarbonados: diflorometano (llamado R-32) y pentafluoroetano (llamado R-125) y es usado en multitud de equipos de climatización. El R410A a diferencia de otros refrigerantes que contienen cloro y bromo, sólo contiene fluor, y no contribuye a la reducción de la capa de ozono. Es un refrigerante de alta calidad y seguridad, clasificado por ASHRAE como A1/A1, es decir, no tóxico y no inflamable aún en caso de fugas. Los niveles de presión del R410A son mucho más elevados que los habituales en los refrigerantes actuales (8 bar mas que en el caso del gas R22 a 40°C), por tanto, deben utilizarse elementos adecuados para estas presiones de trabajo. Sin embargo, este producto tiene un alto índice GWP (1725 veces el del dióxido de carbono), con lo cual será importante evitar fugas para evitar que llegue a la atmósfera y contribuya al efecto invernadero. Las propiedades termodinámicas más destacables de este refrigerante se resumen a continuación:

- Densidad del líquido a 25°C: 1,061 kg/dm³.
- Temperatura crítica: 72,2°C.
- Temperatura de ebullición a 1,013 bar: -52,2 °C.
- Presión crítica: 49,5 bar.
- Presión de vapor a 25°C: 16,4 bar.
- Calor latente de vaporización a 1,013 bar: 271,5 Kj/kg K.
- Deslizamiento de temperatura de ebullición a 1,013 bar: 0,1 K.

Para la bomba de calor **ecoGEO⁺ HP 25-100** seleccionada en este proyecto, según la ficha técnica que ofrece la marca Ecoforest, **la carga de refrigerante R410A estará en torno a 8,5 a 9,1 kgs.**

6.2 Funcionamiento de la BCG

La bomba de calor geotérmica funcionará en modo de producción de frío y calor de manera simultánea. De este modo, el edificio podrá disponer de calefacción y de refrigeración en cualquier momento y en distintos recintos de forma simultánea, sin necesidad de realizar un cambio de modo en el funcionamiento de la bomba de calor.

La tecnología de este tipo de bombas de Ecoforest permite la posibilidad de controlar el funcionamiento de la bomba de calor y la instalación para producir simultáneamente calefacción/ACS y refrigeración sin la necesidad de módulos externos. Esta funcionalidad, además, hace un aprovechamiento óptimo del sistema y permite alcanzar unos rendimientos instantáneos y estacionales (COP Y SPF) considerablemente mayores.



Ilustración 22: Esquema de principio de diseño simultáneo. Fuente: Ecoforest.

6.3 Depósitos de inercia y ACS

En el esquema de distribución de la sala de máquinas del edificio objeto de proyecto detallado en el punto siguiente se observarán tres depósitos. Para poder satisfacer todas las demandas existentes se ha optado por la instalación de dos depósitos de inercia con una capacidad de 500L cada uno. Se opta así por la solución de producción de frío y calor simultáneo, ya que en el edificio existirán momentos en los que se precise de ambas demandas. Además, en el propio edificio existen diversas salas que necesitarán frío todo el año y cuya demanda ha de ser satisfecha independientemente del momento del año en el que se encuentre la instalación, como puede ser las salas de ordenadores o servidores.

Para seleccionar el volumen de los depósitos de inercia se debe observar el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE). Dicho reglamento establece que los depósitos de inercia deberán tener entre 15 y 30 L por kW de potencia térmica nominal del generador. Haciendo los cálculos y sabiendo que la bomba tiene una potencia nominal de calefacción y refrigeración de 86,7 y 90,3 kW respectivamente, se deduce que deberán tener un volumen de acumulación de unos 1.500L. Los depósitos de inercia propuestos en este proyecto serán **los T-B 1500 INOX de la marca Ecoforest**. Se trata de depósitos de inercia aptos tanto para aplicaciones de calefacción como de refrigeración. Están fabricados en acero inoxidable y poseen un aislamiento térmico en espuma rígida de poliuretano inyectado libre de HCFC con un acabado exterior en PVC semirrígido. Como se ha dicho anteriormente, ambos depósitos tendrán un volumen de acumulación de 1500L y una presión de trabajo de 6 bar. Las dimensiones e los mismos son 1450 mm de diámetro exterior y 1831 mm de altura total. Se tratan de depósitos de suelo.

Para la acumulación de ACS se ha propuesto un depósito con una acumulación de 300L, ya que las necesidades de este recurso son bastante escasas y con dicho volumen será suficiente para satisfacer la demanda de agua caliente diaria del edificio. Únicamente se necesitará agua caliente para los grifos de los diferentes aseos repartidos por el edificio. Al tener potencias elevadas en la bomba, según recomendaciones del fabricante, se requiere la instalación de un intercambiador de placas para la acumulación de agua caliente sanitaria. Por lo tanto, se instalará un depósito de ACS genérico de 300 L de volumen, con aislamiento de poliuretano inyectado libre de HCFC y protección contra corrosión mediante ánodo de magnesio.

Las características técnicas de ambos depósitos vienen explicadas detalladamente en la tabla 17.

Tabla 17. Características técnicas de los depósitos de inercia y ACS. Fuente: Ecoforest.

	DEPÓSITO INERCIA T-B INOX	DEPÓSITO ACS
Volumen (L)	1500	300
Presión de trabajo máx. (bar)	6	8
Diámetro exterior (mm)	1450	600
Altura total (mm)	1831	2000

6.4 Intercambiador de placas

Para realizar correctamente el intercambio de calor entre el fluido caloportador del circuito de calefacción y el agua caliente sanitaria, se pueden optar por dos modos. El primero de ellos sería mediante el intercambio de calor con serpentín. Como se ha mencionado en el apartado anterior, cuando se tienen bombas de calor con potencias elevadas, el fabricante no recomienda la instalación de interacumuladores con serpentín.

Por ello, y siguiendo siempre las instrucciones de Ecoforest se propone la instalación de un intercambiador de placas genérico, se propone la instalación de un intercambiador de placas genérico, de marca Alfa Laval o similar, formado por placas de acero inoxidable AISI 316, potencia de 40 kW, presión máxima de trabajo de 6 bar y temperatura máxima de funcionamiento de 100 °C.



Ilustración 23:
Intercambiador de placas.

Por requerimientos sanitarios e higiénicos, el interacumulador para el almacenamiento de agua caliente sanitaria, dispondrá de una **resistencia eléctrica con una potencia de 2,5 kW**.

Aunque el intercambiador de placas sea necesario en esta instalación, se tendrá en cuenta para el diseño de las bombas de circulación del sistema, ya que este tipo de elementos aumenta considerablemente las pérdidas de carga de la instalación.

6.5 Vasos de expansión

El vaso de expansión es un recipiente metálico con forma redondeada o alargada, cerrado herméticamente y cuyo interior está dividido en dos partes mediante una membrana elástica e impermeable. Una de las partes está en contacto directo con el agua, mientras que la otra está en contacto con aire o algún tipo de gas (generalmente nitrógeno). La función del vaso de expansión es absorber el aumento de presión del agua que se origina en el circuito de ACS o de calefacción cuando el agua se calienta. Al calentarse, el agua se expande presionando la membrana elástica y comprimiendo el aire o gas de la otra membrana, absorbiendo ese aumento de presión y manteniendo el sistema en un nivel óptimo de presión.

El cálculo del vaso de expansión se ha hecho en base a la norma UNE 100 155 88, Climatización: Cálculo de Vasos de Expansión.

Cada circuito de la instalación tiene una capacidad aproximada de 3,8 m², las temperaturas límites máximas en las que se puede encontrar la instalación serán de entre 5 °C y 60 °C. En primer lugar, se calcula el volumen de agua de la instalación.

Tabla 18: Volumen de agua para el diseño del vaso de expansión. Fuente propia.

VOLUMEN INSTALACIÓN [l]							
1	Volumen agua en intercambiador de la Bomba de Calor						[l]
						4,1	
2	Volumen agua en el circuito geotérmico						
	Diámetro	Longitud	Longitud	Volumen unitario	Volumen total		
		ida	TOTAL				
	(mm)	(m)	(m)	(l/m)	(l)		
	32	1750	3500	0,539	1.886,5		
	63	93	186	2,445	454,85		
1	Volumen agua en el depósito de inercia						[l]
	Depósito de inercia			1.500	1.500		
						Total	3.845,45
3	Volumen total en el circuito hidráulico						3.845,45

Con estos datos, inicialmente se ha de calcular el coeficiente de dilatación del fluido C_e (adimensional) que en el caso del agua se calcula con las siguientes fórmulas:

Para temperaturas desde 30°C hasta 70°C:

$$C_e = (-1,75 + 0,064 t + 0,0036 t^2) * 10^{-3}$$

Ecuación 5: Cálculo del coeficiente de dilatación del agua para temperaturas entre 30°C y 70°C según norma UNE 100 155 88

donde t es la temperatura máxima de funcionamiento del circuito en °C (60°C)

$$C_e = 0,015$$

A continuación, se calcula el coeficiente de presión C_p (adimensional), a partir de la ecuación 6.

$$C_p = PM / (PM - Pm)$$

Ecuación 6: Cálculo del coeficiente de presión del agua según norma UNE 100 155 88

Donde Pm es la presión mínima del vaso en bares (1 bares), PM es la presión máxima del vaso en bares (6 bares) .

$$Cp = 1,5$$

Finalmente, el volumen del vaso de expansión Vt en litros se calcula con la siguiente fórmula:

$$Vt = V \cdot Ce \cdot Cp$$

Ecuación 7: Cálculo del volumen total del depósito de expansión.

Donde Ce y Cp ya se han calculado antes y V es el volumen total de agua del circuito en litros.

$$Vt = 86,82 \text{ litros}$$

Por lo tanto y en vista de los cálculos anteriormente descritos, para cada circuito se precisarán de dos vasos de expansión de un volumen mínimo de 86,82 L. Se ha elegido un vaso de expansión SEDICAL NG 100/6 cuyas características técnicas se exponen a continuación, la capacidad de acumulación de dicho vaso es mayor para tener un margen de seguridad:

Tabla 19: Datos técnicos del vaso de expansión.

Datos técnicos	
Descripción	Vaso de expansión cerrado para instalaciones de climatización y calefacción, con membrana recambiable, homologado según directiva 97/23/CE de aparatos a presión, con orificio de inspección y manómetro en el lado del N ₂
Presión máxima de trabajo	6 bar
Capacidad de acumulación	100 litros
Dimensiones y peso	
Anchura	480 mm
Altura	670 mm
Diámetro de conexiones	R 1"
Peso	11.2 kg

6.6 Bombas de circulación

Las bombas de circulación del sistema no vienen incluidas con la bomba, por lo que habrá que implantarlas. Para el correcto funcionamiento del sistema se requieren dos bombas de circulación que operen el sistema. Una de ellas será la encargada de trasegar el fluido

caloportador desde los pozos geotérmicos hasta la bomba de calor geotérmica. La otra bomba hará circular el agua por el circuito de climatización.

Para realizar el cálculo de la bomba de circulación se tienen en cuenta todos los elementos que son susceptibles de generar una pérdida de carga en el sistema, estos son:

- Tuberías de polietileno.
- Colector principal.
- Valvulería de la instalación.
- Codos, Tes, reducciones, etc.
- Intercambiador de la bomba de calor

Las pérdidas dependen del caudal que circula por la instalación y este será impuesto por las características de la bomba de calor escogida. La bomba de calor funcionará con un caudal variable, en función de la carga térmica del edificio demanda. Se dimensionará la bomba de circulación en el momento más desfavorable posible, es decir, cuando trasiegue el caudal máximo y las pérdidas sean mayores. Siguiendo las especificaciones técnicas que proporciona Ecoforest, el caudal máximo trasegado por la bomba de calor son 16 m³/h.

Tabla 20: Caudal máximo trasegado por la BCG.

	CAUDAL [m ³ /h]
Colector Principal (Ø=63 mm)	16,0
Tubería a perforaciones (Ø=32 mm)	1,6

Diseñando para la hipótesis 1 y viendo la tabla 20, existen 10 perforaciones, tal cual se ha expuesto en el punto 4 de esta memoria, por lo que el caudal de la tubería a las perforaciones, será resultado de la división entre el caudal total, y el número total de perforaciones que existen. Ahora, se calcula la pérdida de carga para el tramo más desfavorable, es decir, la perforación más alejada de la sala de máquinas.

- **Pérdidas de carga en tuberías:**

En función del diámetro de la tubería y caudal trasegado y con las tablas del fabricante de tuberías de PEHD se obtiene la pérdida lineal en los colectores y tuberías a perforaciones según la tabla 21.

Tabla 21: Perdida de carga en las tuberías. Fuente: Fabricante de PEHD.

	LONGITUD [m]	CAUDAL [m ³ /h]	PÉRDIDA LINEAL [mca/m]	PÉRDIDA TOTAL [mca]
Colector Principal (Ø=63 mm)	20	16	0,03	0,6

Tubería a perforaciones (Ø=32 mm)	300	1,6	0,007	2,1
TOTAL				2,7

- **Pérdidas singulares:**

Los coeficientes de pérdidas de carga, referidos a la velocidad del agua en el conducto son:

- codos (k=2)
- Te (k=1,80)
- manguitos antivibratorios (k=0.25)
- válvulas de corte (k=1)
- válvula antirretorno (k=1.7)
- manguitos (k=0.2)
- reducciones(k=0.55)

Aplicando la expresión 8

$$\Delta P(mmca) = \rho \cdot k_s \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = R \cdot Q^2$$

Ecuación 8: Cálculo de las pérdidas de carga.

y teniendo en cuenta que todos los elementos singulares están en serie, es decir, que $R_{eq} = \Sigma R_i$, se obtiene:

En colector principal:

$$\Delta P(mmca) = 1000 \cdot \frac{0,99^2}{2 \cdot 9,81} \cdot (8 \cdot 2 + 10 \cdot 1,80 + 2 \cdot 0,25 + 4 \cdot 1 + 1 \cdot 1,7 + 2 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,55) = 1700 mmca$$

En la sonda geotérmica:

$$\Delta P(mmca) = 1000 \cdot \frac{0,5^2}{2 \cdot 9,81} \cdot (6 \cdot 2 + 4 \cdot 1,80 + 1 \cdot 1 + 2 \cdot 0,55) = 271mmca$$

Así que la pérdida de carga debido a las pérdidas singulares es de 1,971 mca.

- **Pérdida en el intercambiador de calor de la bomba geotérmica:**

Según datos del fabricante la pérdida hidrostática en el intercambiador de la bomba de calor de 3,5 mca.

- **Pérdida en el intercambiador de ACS:**

Según datos del fabricante la pérdida hidrostática en el intercambiador de placas de ACS es de 0,8 mca.

- **Pérdida en el filtro:**

Se estima una pérdida en el filtro de 0,7 mca. Se recomienda un buen mantenimiento del filtro para no incrementar las pérdidas hidráulicas.

- **Pérdidas globales:**

Sumando todas las pérdidas de los elementos anteriores se obtiene la pérdida de carga total que la bomba de circulación deberá ser capaz de contrarrestar:

$$\text{Pérdidas globales} = 2,7 + 1,971 + 3,5 + 0,8 + 0,7 = 9,7 \text{ mca.}$$

Se asume un margen de seguridad del 10 %, obteniéndose que la pérdida de carga es de 10,6 m.c.a. para un caudal de de 16 m3/h.

Así pues, se selecciona la bomba de circulación con el objetivo de que supere tanto el caudal máximo trasegado, como las pérdidas de carga. Se tendrán las siguientes bombas de circulación dependiendo del circuito donde se encuentre:

- **Bomba de circulación en el circuito de calefacción y de refrigeración:**

Bomba circuladora electrónica de velocidad variable, modelo 97924286 MAGNA3 50-180 F "GRUNDFOS", índice de eficiencia energética EEI 0,18, peso 19 kg, conexiones DN 50 mm, presión máxima 6/10 bar, apta para temperaturas desde -10 hasta 110°C, motor con alimentación monofásica, protección IPX4D y aislamiento clase F, con contrabridas con conexiones DN 50 mm x DN 50 mm.

Tabla 22: Características técnicas bomba de circulación. Fuente: Grundfos.

MAGNA3 50-180 F	
Tensión nominal (V)	230
Potencia máxima (W)	764
Intensidad mínima (A)	0,24
Intensidad máxima (A)	3,45
Caudal nominal (m ³ /h)	21,88
Altura máxima (mca)	18
Presión de trabajo máxima (bar)	10
Rango de temperaturas ambientales (°C)	0 - 40
Rango de temperaturas del líquido (°C)	-10 - 110
Grado de protección (IEC 34-5)	X4D
Grado de aislamiento (IEC 85)	F

Las curvas características de la bomba son las siguientes:

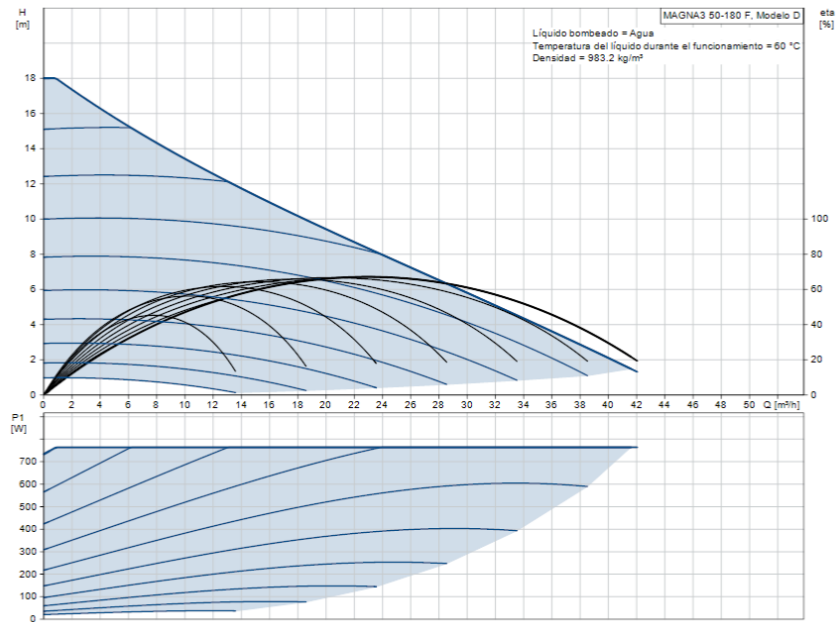


Gráfico 5: Curvas características de la bomba de circulación MAGNA3 50-180 F. Fuente: Grundfos.

- **Bomba de circulación en el circuito de ACS:**

Bomba de circulación para el circuito del intercambiador de placas del depósito de ACS. Rotor húmedo. Temperatura máxima de funcionamiento 65°C. Datos requeridos: caudal 4 m³/h y pérdida de carga 2 mca.

6.7 Esquema de la sala de máquinas

La sala de máquinas tendrá un esquema tipo de diseño simultáneo en el que la bomba de calor geotérmica será la encargada de producir frío y calor simultáneamente dependiendo de la demanda del edificio.

En la siguiente ilustración se puede observar con detalle cómo sería la instalación del edificio objeto de proyecto:

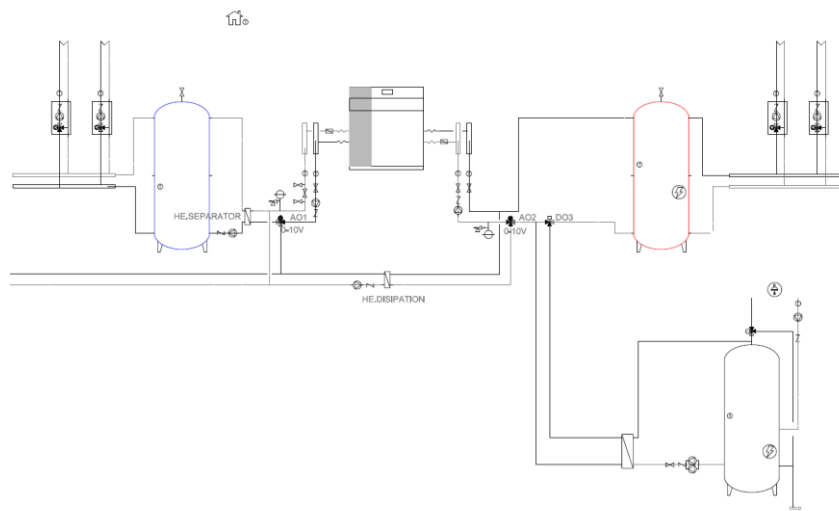


Ilustración 24: Esquema tipo de la sala de máquinas para el diseño simultáneo. Fuente: Ecoforest.

La idea es que esta sala, localizada en el sótano del edificio principal, en el espacio cerrado ubicado junto a la escalera, sea visitable, con el objetivo de poder promocionar la geotermia y ser expuesta a modo de museo. Posteriormente se llevará a cabo la monitorización del sistema, la cual permitirá conocer todos los datos relevantes de la bomba de calor y analizarlos, para poder presentarlos a todos los visitantes del Ayuntamiento como información y modelo de climatización renovable y eficiente.

7 ANÁLISIS DE LAS PRESTACIONES DE LA INSTALACIÓN

En este apartado de la memoria se calcularán los rendimientos de la instalación completa. Mediante la simulación realizada en la nueva versión del programa Earth Energy Designer (EED) se pueden obtener los datos horarios de las potencias disipadas en el intercambiador enterrado, así como de las temperaturas de entrada y de salida de los pozos. Parametrizando las curvas de la bomba de calor y con los datos de la simulación, se puede obtener el punto de funcionamiento para cada hora de los 25 años de periodo. Se escogerá como análisis el último año de la instalación, ya que representa el periodo más desfavorable.

7.1 Producción de Agua Caliente Sanitaria

La bomba de calor de Ecoforest dispone de curvas parametrizadas de producción de agua caliente para temperaturas de 55 °C. Sin embargo, como se ha ido comentando a lo largo de esta memoria, las necesidades de este recurso no serán muy elevadas por el tipo de edificio que se está diseñando. Únicamente se necesitará Agua Caliente Sanitaria (ACS) para los grifos que existen en los distintos baños repartidos por el edificio. Por lo tanto, **la temperatura de acumulación de este recurso será de unos 40/45 °C.**

El intercambio de calor se llevará a cabo mediante un intercambiador de placas de 40 kW, necesario para potencias elevadas en la bomba de calor. Aunque la bomba de calor es suficientemente para producir ACS a la temperatura deseada, se tiene una resistencia eléctrica de apoyo de 2,5 kW. La introducción de este elemento en la instalación no es otro que controlar la aparición de brotes de legionela. La legionela es una bacteria que vive en numerosos medios naturales acuáticos y que crece en aguas con temperaturas comprendidas entre 20°C y 50°C, con un desarrollo óptimo entre 35°C y 45°C. La resistencia de apoyo se utilizará para llevar esa agua a temperaturas de al menos 70°C durante varias horas, con el objetivo de erradicar cualquier resto de la bacteria en el agua caliente sanitaria y tener unas condiciones higiénicas y óptimas en toda la instalación.

7.2 Sistemas de climatización

El objetivo de esta memoria no es el de diseñar el sistema de emisores de calor y frío del edificio objeto de proyecto, aunque se mencionará el sistema escogido y su justificación. Para la climatización del edificio existen diversos sistemas de emisión de calor disponibles en el mercado.

Uno de los sistemas disponibles son los **radiadores convencionales**, o los radiadores de baja temperatura. Aunque su uso está muy extendido en todas las instalaciones de climatización de agua caliente, **requieren temperaturas de producción elevadas (60°C – 80°C)** y comprometen el rendimiento de la bomba de calor al requerir una producción a altas temperaturas. Además,

no es un sistema que se pueda utilizar también para refrigeración, por lo que para esta se deberá escoger otro tipo de sistema de emisión.

Por otro lado, y la opción más interesante desde el punto de vista energético es **el suelo radiante y techo refrescante**. Este tipo de instalaciones permiten la producción de agua a temperaturas bajas debido a la elevada superficie de intercambio de calor que se genera, permitiendo la obtención de rendimientos muy elevados. Sin embargo, su instalación no es sencilla y suele ser la más costosa de todas, debido a que se requeriría la obra de todas las plantas del edificio.

Por último, se tienen los sistemas de emisión mediante **fan-coils**. Esta opción lleva incorporada un serpentín por el que pasa el agua caliente o fría según se requiera, consiguiendo buenos intercambios de calor por convección. **La producción de agua caliente requerida está en torno a los 40°C-45°C y para la producción de frío estará sobre los 7°C-12°C**, las cuales permitirán conseguir buenos rendimientos medios estacionales en la bomba de calor. Una ventaja imprescindible es que se trata de un sistema reversible, es decir, permite la producción de frío o calor con un único elemento, lo que abarata los costes y simplifica la complejidad de la instalación.

Por lo tanto, el sistema escogido en el Ayuntamiento de Vilamarxant vistas las características de las opciones anteriormente mencionadas, son los fan-coils, debido principalmente a que se trata de un sistema reversible y con el que se consiguen rendimientos importantes. El esquema de funcionamiento del funcionamiento de este tipo de sistemas viene mostrado a continuación:

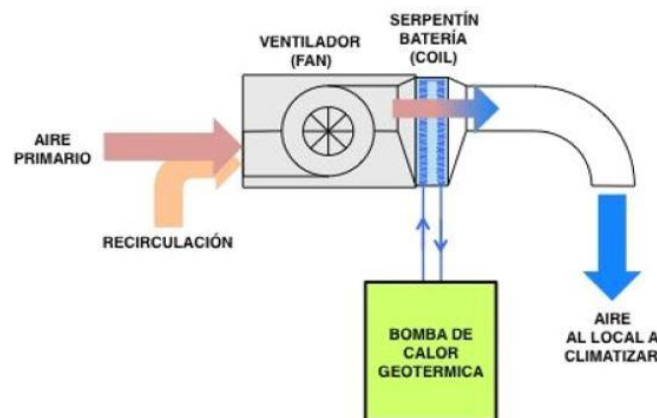


Ilustración 25: Esquema simplificado del funcionamiento de un fan-coil. Fuente: Geotermia vertical.

7.3 Puntos de funcionamiento de la bomba de calor

En la ficha de características técnicas que Ecoforest ofrece para la bomba de calor geotérmica modelo ecoGEO⁺ HP 25-100 se han calculado los rendimientos de calefacción, o COP (Coefficient of Performance) y el rendimiento en modo refrigeración, o EER (Energy Efficiency Ratio). Estos rendimientos han sido calculados según la norma UNE EN 14511, que incluye el consumo de cinco bombas de circulación y el driver del compresor en su cálculo. Los rendimientos son los siguientes:

- COP de 4,5 (B0W35). Con una temperatura en captación de 0°C y temperatura de producción a 30-35°C.
- EER de 4,6 (B35W7). Con una temperatura en captación a 35°C y temperatura de producción a 7-12°C.

Para poder conocer el punto de funcionamiento en cada momento, se han de conocer las curvas de funcionamiento de la bomba de calor según la captación y producción. En la ficha técnica de la bomba de calor se haya esta información, donde también se muestran las gráficas que nos indican la potencia generada según el régimen de giro del compresor, consumos y rendimientos, y que están especificadas en los anexos de esta memoria.

Por lo tanto, para cada modo de funcionamiento de la bomba de calor, según la temperatura de producción y la de captación se tendrán diferentes curvas.

7.3.1 Calefacción y ACS

Para poder calcular los puntos de funcionamiento de calefacción en ACS y calefacción no se disponen de curvas, ya que la instalación producirá ambas a 40/45°C. Por ello, y con el objetivo de poder visualizarlo, se estiman a partir de las curvas que ofrece Ecoforest para una temperatura de producción a 50/55°C y a 30/35°C. En los gráficos siguientes, se ha trazado la estimación de las curvas para 40/45°C:

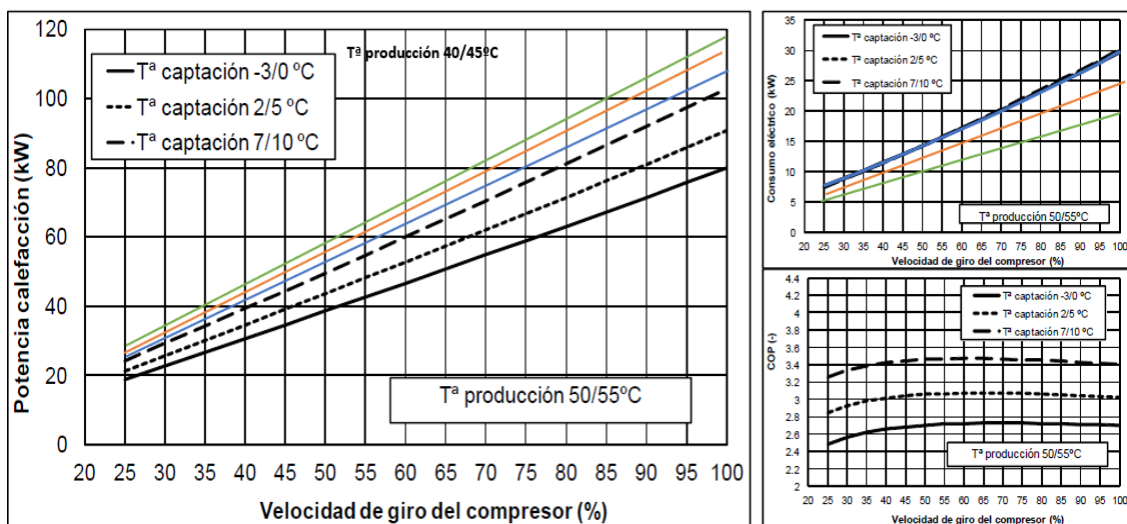


Gráfico 6: Puntos de funcionamiento de la bomba de calor en calefacción y ACS. Fuente: Ecoforest.

Para poder estimar las curvas a una temperatura de producción de 40/45°C se necesitan varias curvas auxiliares. En primer lugar, se tiene la **curva verde**, que **actúa como referencia**, y es la curva que indica los puntos de funcionamiento de la bomba de calor para una producción a 30/35°C, y que está sacada a partir de las especificaciones técnicas de la bomba a dicha temperatura de producción. Una vez hecha esa, **sabiendo que las curvas para una producción a 40/45°C estarán entre las de 50/55°C y 30/35°C**, se trazan las curvas azul y naranja. Estas curvas, **azul y naranja**, servirán como estimación para determinar los puntos de funcionamiento de la bomba de calor con **una producción a 40/45°C y una captación a 7/10°C y 14/17°C respectivamente**.

Como ya se sabe, para calcular el rendimiento de la bomba en cada punto se precisa conocer la potencia calorífica y el consumo eléctrico de la bomba de calor.

$$COP \text{ (calefacción y ACS)} = \frac{\text{Potencia calorífica (kWh)}}{\text{Consumo eléctrico (kWh)}}$$

Ecuación 9: Cálculo del rendimiento de la bomba de calor en modo calefacción y ACS.

Los datos obtenidos a partir de las ecuaciones de las curvas estimadas en el gráfico 6 se muestran tabuladas a continuación en las tablas 23 y 24, donde también viene determinado el COP mediante la ecuación 8.

Tabla 23: Puntos de funcionamiento de la BCG para calefacción, con una temperatura de producción de 40/45°C, y una captación a 7/10°C.:

TEMPERATURA DE CAPTACIÓN 7/10°C			
Velocidad de giro (rpm)	Potencia calorífica (kW)	Consumo eléctrico (kW)	COP
25	25	5,95	4,34
30	30	7,01	4,48
40	40	9,31	4,55
50	50	11,82	4,52
60	60	14,51	4,44
70	70	17,35	4,35
80	80	20,30	4,26
90	90	23,31	4,18
100	100	26,37	4,11

Tabla 24: Puntos de funcionamiento de la BCG para calefacción, con una temperatura de producción de 40/45°C, y una captación a 14/17°C.:

TEMPERATURA DE CAPTACIÓN 14/17°C			
Velocidad de giro (rpm)	Potencia calorífica (kW)	Consumo eléctrico (kW)	COP
25	29,24	5,95	4,91
30	34,70	7,01	4,95
40	45,62	9,31	4,90
50	56,54	11,82	4,78
60	67,46	14,51	4,65
70	78,38	17,35	4,52
80	89,30	20,30	4,40
90	100,22	23,31	4,30
100	111,14	26,37	4,22

Con el objetivo de poder observar la evolución del COP de calefacción y ACS para las curvas estimadas a una producción de 40/45°C se tiene el gráfico 7.

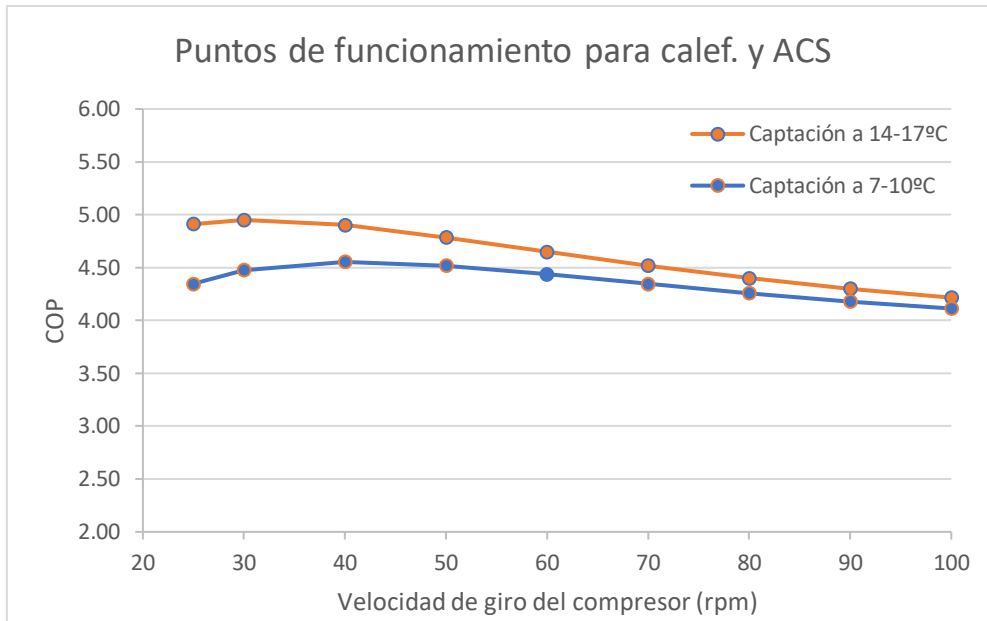


Gráfico 7: Puntos de funcionamiento de la BCG en calefacción y ACS en función de la velocidad de giro del compresor. Fuente propia.

7.3.2 Refrigeración

Los puntos de funcionamiento obtenidos a partir de las fichas técnicas de Ecoforest en el modo refrigeración se encuentran en el gráfico 8.:

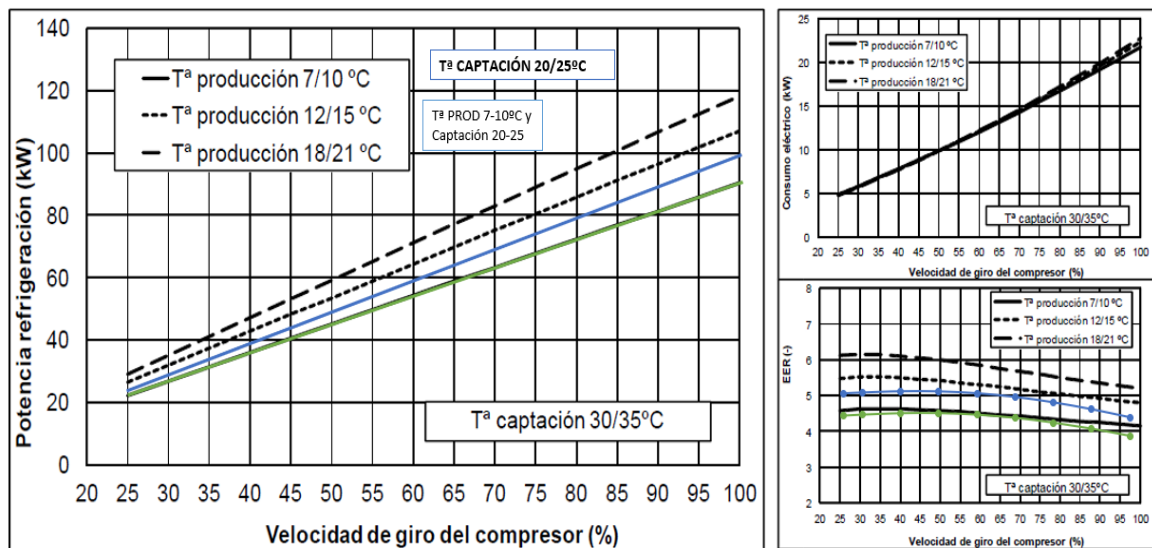


Gráfico 8: Puntos de funcionamiento de la bomba de calor en refrigeración. Fuente: Ecoforest.

Con el objetivo de poder caracterizar mejor los puntos de funcionamiento de la bomba de calor durante su funcionamiento, se trazan dos líneas. Dichas líneas sirven para determinar los puntos de funcionamiento en refrigeración, con una temperatura de **producción de 7/10°C**, adecuada para los fan-coils. Por un lado, se tiene la **recta verde**, con una temperatura de **captación de 30/35°C**, y por otro lado se tiene **la recta azul**, con una temperatura de **captación de 20/25°C**. Esta última recta está trazada de manera aproximada en el gráfico, en vistas de que la potencia frigorífica para una captación a temperatura más baja, será superior.

El cálculo del rendimiento de la bomba de calor en este caso vendrá dado a partir de la ecuación 9.

$$EER \text{ (refrigeración)} = \frac{\text{Potencia frigorífica (kWh)}}{\text{Consumo eléctrico (kWh)}}$$

Ecuación 10: Cálculo del rendimiento de la bomba de calor en modo refrigeración.

Los datos obtenidos se observan en las tablas siguientes. Para la recta azul y una temperatura de captación de 20/25°C se tienen los datos tabulados en las tablas 17 y 18.

Tabla 25: Caracterización de los puntos de funcionamiento de la BCG para una temperatura de captación de 20/25°C y una producción a 7/12°C.

TEMPERATURA DE CAPTACIÓN 20/25°C			
Velocidad de giro (rpm)	Potencia frigorífica (kW)	Consumo eléctrico (kW)	EER
25	25	4,97	5,03
30	30	5,94	5,05
40	40	7,87	5,08
50	50	9,85	5,08
60	60	11,92	5,03
70	70	14,15	4,95
80	80	16,60	4,82
90	90	19,34	4,65
100	100	22,41	4,46

Por otro lado, para la recta verde y una temperatura de captación de 30/35°C se tienen los datos tabulados siguientes:

Tabla 26: Caracterización de los puntos de funcionamiento de la BCG para una temperatura de captación de 30/35°C y producción a 7/12°C.

TEMPERATURA DE CAPTACIÓN 30/35°C			
Velocidad de giro (rpm)	Potencia frigorífica (kW)	Consumo eléctrico (kW)	EER
25	22,35	4,97	4,50
30	26,85	5,94	4,52
40	35,87	7,87	4,56
50	44,88	9,85	4,56
60	53,89	11,92	4,52
70	62,91	14,15	4,45
80	71,92	16,60	4,33
90	80,93	19,34	4,19
100	89,95	22,41	4,01

Para poder observar mejor los puntos de funcionamiento de la bomba de calor en refrigeración según el régimen de giro se realiza el gráfico 9, donde se tabula la evolución del EER para una captación a 20/25°C (línea azul) y para una captación a 30/35°C.

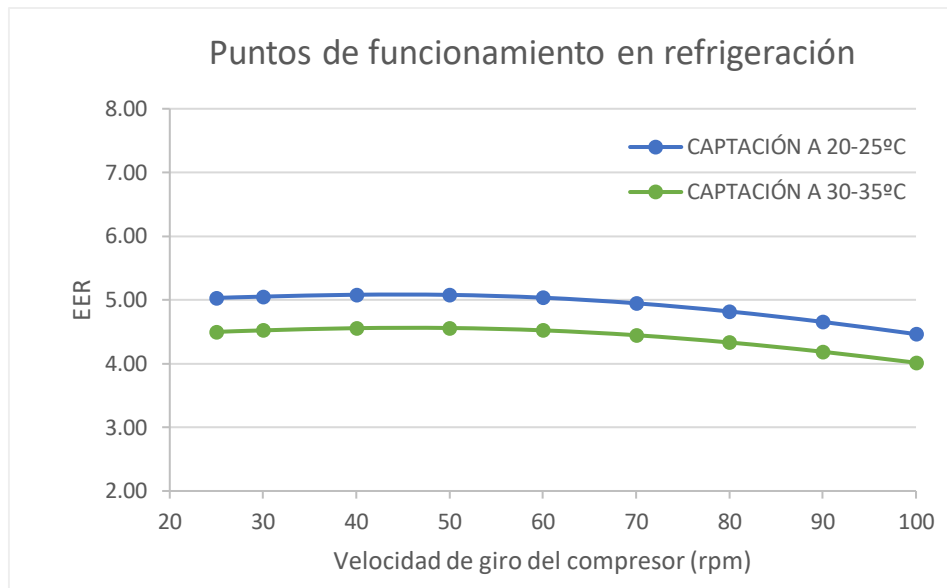


Gráfico 9: Puntos de funcionamiento de la BCG en refrigeración en función de la velocidad del compresor. Fuente propia.

7.4 Rendimientos medios estacionales

El rendimiento medio estacional de un equipo o sistema (SPF) se define como la eficiencia de la instalación, dependiente de su entorno más inmediato, y en la cual influyen las condiciones medias de uso, las condiciones climatológicas y las características de sus componentes.

Existen fórmulas a partir de las cuales se puede estimar el rendimiento medio estacional de una bomba de calor mediante diversos factores de ponderación. Sin embargo, y gracias a la simulación realizada a partir del programa Earth Energy Designer (EED), se conocen todos los datos horarios para los 25 años de uso de la instalación. Basando el estudio en el periodo más desfavorable, es decir, el último año de la instalación, se conocen las temperaturas de entrada y salida a los pozos geotérmicos y la demanda energética del edificio cada hora del año. Con ambos datos y mediante las curvas estimadas a partir de las hojas de especificaciones técnicas de la bomba de calor del punto 6.3 de esta memoria, es posible calcular los rendimientos horarios de la instalación completa.

Para el cálculo de estos rendimientos medios, se ha utilizado la herramienta Excel. Con los datos horarios del EED se puede sacar el rendimiento, no sólo mensual, si no horario. Con el objetivo no incluir demasiados datos, se resume el cálculo de los rendimientos medios horarios y se muestran los mensuales y los anuales del último año de simulación. Los rendimientos medios estacionales mensuales de la instalación vienen tabulados en la tabla 27.

Tabla 27: Rendimiento medio estacional de la BCG para los distintos modos de funcionamiento, y para el año 25 de simulación.

	SCOP (Calefacción)	SEER	SCOP (ACS)
Enero	4,88	5,03	4,80
Febrero	4,90	5,03	4,86
Marzo	4,90	5,03	4,87
Abril	4,92	5,03	4,92
Mayo	4,92	5,03	4,92
Junio	0,00	4,85	4,92

Julio	0,00	4,64	4,92
Agosto	0,00	4,62	4,92
Septiembre	0,00	4,63	4,92
Octubre	4,92	4,65	4,92
Noviembre	4,92	5,03	4,92
Diciembre	4,92	5,03	4,86
SPF ANUAL	4,91	4,85	4,90

Ahora bien, la tabla anterior únicamente tiene en cuenta la demanda energética del edificio y las prestaciones que la bomba de calor proporciona teniendo en cuenta los requisitos, pero no tiene en cuenta el consumo energético derivado de las bombas de circulación de la instalación. Las bombas, propuestas en el punto 6.6 de esta memoria tendrán un consumo energético más o menos elevado según el caudal a trasegar y que afectarán al rendimiento estacional de la instalación al completo. Dichas curvas de funcionamiento son las expuestas en el gráfico 5. En la tabla 20 se ve reflejado el rendimiento de la instalación al completo, teniendo en cuenta el consumo energético de las bombas de la sala de máquinas y al funcionamiento simultáneo.

Tabla 28: Rendimiento medio de la instalación completa, teniendo en cuenta las bombas de circulación.

	T. media fluido (°C)	Demanda suministrada (kWh)	Horas func. (h)	Potencia eléctrica (kWh)	Potencia bombas circ. (kWh)	Consumo instalación (kWh)	PF
ENE	14,48	9166,41	261,80	1785,86	134,34	1920,20	4,77
FEB	13,62	6292,34	180,13	1205,79	93,53	1299,32	4,84
MAR	15,71	4907,17	139,60	935,56	74,07	1009,63	4,86
ABR	16,37	1976,25	58,74	354,67	34,36	389,03	5,08
MAY	17,30	1078,52	31,04	180,82	21,18	201,99	5,34
JUN	18,78	3650,14	95,98	672,27	11,32	683,59	5,34
JUL	21,96	7731,25	189,82	1519,67	11,15	1530,82	5,05
AGO	21,43	4955,78	173,37	983,50	5,44	988,94	5,01
SEP	20,56	4407,56	116,42	832,52	11,06	843,58	5,22
OCT	18,66	538,84	13,31	76,93	12,77	89,70	6,01
NOV	17,04	2870,98	85,41	524,77	46,82	571,59	5,02
DIC	15,59	7928,06	228,95	1518,07	117,43	1635,50	4,82
							4,97

Nota: En los meses de invierno (enero, febrero, marzo, abril mayo, octubre, noviembre y diciembre) la demanda de frío se produce simultánea y no hay consumo eléctrico de la bomba en frío. En los meses de verano (junio, julio, agosto y septiembre) la demanda de ACS se produce simultánea y no hay consumo eléctrico de la bomba de ACS

Según los requisitos básicos de ahorro de energía del DB-HE 4 "Contribución mínima de energía renovable" existe un valor límite a partir del cual cualquier sistema que utilice bomba de calor será considerado como energía renovable si cumple las siguientes condiciones:

- Su rendimiento medio estacional SPF sea **superior a 2,5** en **bombas accionadas eléctricamente**.
- Su rendimiento medio estacional SPF sea **superior a 1,15** cuando sean **accionadas mediante energía térmica**.

La bomba de calor geotérmica que se instalará en el Ayto. de Vilamarxant se acogerá a la primera de las condiciones, ya que está accionada eléctricamente. Viendo los datos de la tabla 27 y 28, la BCG proyectada, cumple con los requisitos propuestos por el Documento Básico de Ahorro de Energía en materia de contribución mínima de energía renovable.

8 ANÁLISIS ENERGÉTICO Y MEDIOAMBIENTAL

En este punto de la memoria se detallarán las emisiones de gases de efecto invernadero, en especial del gas más importante cuando se habla del calentamiento global, que es el CO₂. Se analizarán los datos obtenidos y se trazará una comparativa con los datos de emisiones de la instalación actual y la instalación geotérmica.

8.1 Análisis ambiental

El análisis ambiental se centra en las emisiones de gases de efecto invernadero, donde principalmente se destaca el CO₂ producido por la quema de combustibles fósiles. Aunque para la nueva instalación se utiliza una bomba de calor geotérmica para proporcionar calefacción, refrigeración y ACS, durante su funcionamiento no se producirá ningún tipo de emisión contaminante, pero realiza un consumo de electricidad, que dependiendo del mix eléctrico producirá más o menos emisiones contaminantes en su producción. Según el mix eléctrico español del 2021 y las pérdidas durante el transporte y distribución de la electricidad, se tomará un valor de 0,232 kg de CO₂ por cada kWh consumido por la bomba de calor. Para determinar las emisiones globales anuales del sistema de climatización y de ACS se tienen los siguientes valores:

- **Instalación completa** (SPF: 4,97, demanda energética total: 55503,30 kWh)

$$\frac{55503,30}{4,97} \text{ kWh} * 0,232 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}} = 2590,90 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{año}}$$

Anualmente, se tendrán unas emisiones totales realizadas a partir de la producción de agua para climatización y ACS de **2590,90 kgCO₂ / año**.

8.2 Análisis energético

Por otro lado, el análisis energético se centra en la diferencia de rendimiento de las instalaciones existentes y la nueva instalación propuesta, con el objetivo de cuantificar el ahorro de energía que supone la sustitución de las instalaciones por otras más eficientes y limpias.

Mediante el rendimiento medio estacional de la instalación completa calculado en el punto 7.4 de esta memoria y gracias a la demanda energética global del edificio, se puede determinar la cantidad de energía eléctrica de la red demandada mediante la siguiente expresión:

- **Instalación completa** (SPF: 4,97, demanda energética total: 55503,30 kWh)

$$\frac{55503,30}{4,97} = 11167,67 \text{ kWh/año}$$

8.3 Comparativa con la instalación actual

Cuando se plantea una instalación nueva siempre es de vital importancia cuantificar los ahorros que se van a obtener. Estos ahorros pasan por el consumo energético, el consecuente ahorro económico y el posible ahorro de emisiones de CO₂. Para poder cuantificarlos se debe conocer de que elementos y sistemas está compuesta la instalación actual en el Ayuntamiento, así como sus características técnicas. Para la elaboración de esta comparativa, se supondrá una demanda energética constante a la calculada en el punto 3 de esta memoria, ya que el edificio es el mismo, y la demanda energética se mantendrá.

El Ayto. de Vilamarxant actualmente dispone de una serie de unidades interiores tipo Split o cassette, cuyas unidades exteriores disponen de una bomba de calor común. Las características técnicas y su análisis permiten obtener el rendimiento en calefacción y refrigeración de estas máquinas, y en la tabla 29 de manera resumida.

Tabla 29: Rendimientos en calefacción y refrigeración de la instalación existente.

	COP	EER
Rendimientos de la instalación actual	3,62	3,01

Para calcular los rendimientos medios estacionales de la instalación existente se debe hacer uso del documento del IDEA "Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción en edificios". Según el documento, se busca determinar los valores SPF para distintas tecnologías y aplicaciones de las bombas de calor accionadas eléctricamente mediante la multiplicación de su COP nominal obtenido en condiciones de ensayo por un factor de ponderación (FP) y un factor de corrección (FC). La expresión es la siguiente:

$$SPF = COP_n * FP * FC$$

Ecuación 11: Cálculo del SPF para bombas de calor según el IDAE.

El factor de ponderación se saca en función de la zona climática de la situación del edificio, la cual es la B. Para dicha zona climática se corresponde un factor de ponderación de 0,75 en equipos centralizados y edificios en bloque. El factor de corrección sólo es aplicable para bombas de calor geotérmicas, por lo que será 1. Los rendimientos medios estacionales son los siguientes:

$$SCOP = 3,62 * 0,75 = 2,72$$

$$SEER = 3,01 * 0,75 = 2,26$$

En la actualidad, no se dispone de producción de agua caliente sanitaria en el edificio, por lo que el análisis no se podrá realizar en este ámbito. Sin embargo, este recurso se producirá con la instalación nueva y la bomba de calor geotérmica, por lo que las prestaciones del edificio mejorarán a las que tiene actualmente el Ayuntamiento.

A continuación, se calculan las emisiones y el consumo energético realizado por la instalación existente. Teniendo en cuenta un factor de emisión de 0,232 kgCO₂/kWh y los rendimientos

obtenidos a partir de las fichas técnicas de la tabla 29, los datos de la instalación existente son los siguientes:

- **Calefacción** (SCOP: 2,72, demanda energética: 30752,14 kWh)

$$\frac{30752,14}{2,72} \text{ kWh} * 0,232 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}} = 2622,98 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{año}}$$

$$\frac{30752,14}{2,72} = 11305,93 \text{ kWh/año}$$

- **Refrigeración** (SEER: 2,27, demanda energética: 20714,11 kWh)

$$\frac{20714,11}{2,27} \text{ kWh} * 0,232 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}} = 2117,04 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{año}}$$

$$\frac{20714,11}{2,27} = 9125,16 \text{ kWh/año}$$

Anualmente, con la instalación actual para únicamente climatizar al Ayuntamiento de Vilamarxant se emiten **4740,02 kgCO₂/año** y se consumen **20431,09 kWh/año**.

Comparando con la situación actual **se tiene un ahorro en emisiones de dióxido de carbono anual de casi 2 toneladas de CO₂ anuales y un ahorro energético de 9263,42 kWh/año**. Se ha de comentar que la instalación existente no está siendo utilizada para producir agua caliente sanitaria (ACS), recurso el cual sí se proporcionará mediante la bomba de calor geotérmica.

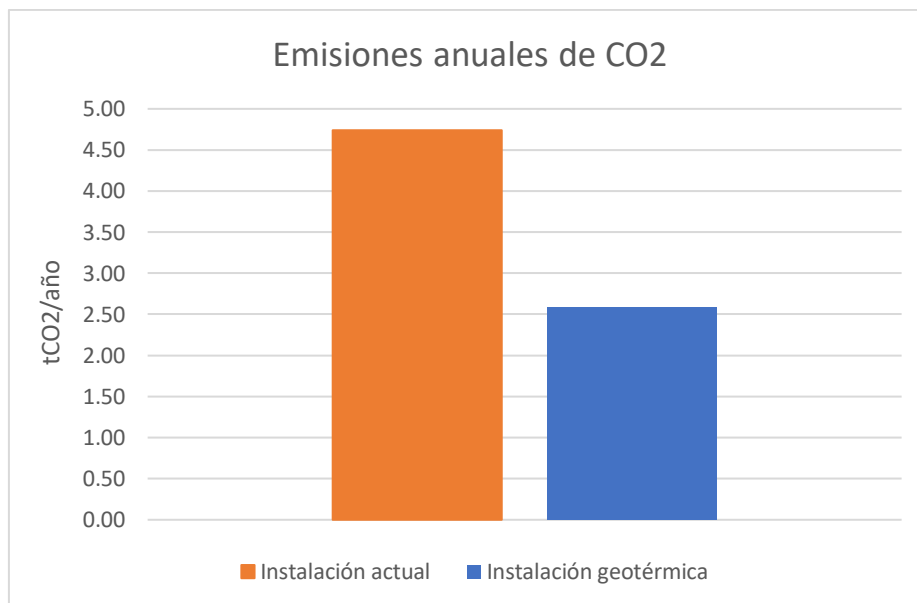


Gráfico 10: Comparativa de emisiones de ambas instalaciones. Fuente propia.

Al final del periodo de análisis de la instalación, al cabo de 25 años, **se tendrá un ahorro energético aproximado de 230 MWh gracias al cual se habrán dejado de emitir aproximadamente 50 tCO₂ a la atmósfera** gracias a la nueva instalación.

9 ANÁLISIS ECONÓMICO

El presupuesto de ejecución de la instalación geotérmica al completo para la hipótesis 1 de esta memoria es de **154.949,86 €**. Sin embargo, el cálculo de la amortización se realizará sobre el sobrecoste de la instalación, es decir, sobre las perforaciones y estudio del terreno. En concreto y según el presupuesto, **el total del sobrecoste de la instalación y lo que se deberá amortizar asciende a 62.985,82 €**

9.1 Periodo de amortización

Para poder realizar el estudio económico antes se deben conocer los precios de la electricidad, que es el recurso que utilizan tanto la instalación nueva como la antigua para proporcionar la energía necesaria para climatización. Según el mix eléctrico español en el año 2021 el precio medio de la electricidad se situó en 0,2816 €/kWh. En vistas del escenario global actual y las subidas de precios generalizadas derivadas especialmente por la crisis energética y los conflictos bélicos, se supone una subida de precios de un 2% anual en los precios de producción eléctrica, que se calcularán año a año a través de la siguiente fórmula:

$$E_n = E_o * \left(1 + \frac{g}{100}\right)$$

Ecuación 12: Cálculo de la evolución de los precios de la electricidad año a año.

Donde:

- E_n es el precio de la electricidad en el año siguiente.
- E_o es el precio de la energía ese mismo año.
- g es la tasa interanual de crecimiento de los precios de la energía eléctrica, es decir, un 2 % anual.

En general no se tendrán en cuenta costes de mantenimiento en la instalación geotérmica. Para el cálculo de los costes operativos de la instalación geotérmica se ha tenido en cuenta el rendimiento de la instalación completa calculado previamente en la tabla 28 de esta memoria.

En la tabla 30 se observan los costes operativos y acumulados de cada instalación y la evolución de los precios de la electricidad obtenidos con la ecuación 10.

Tabla 30: Comparativa del coste operativo de la instalación geotérmica con la existente. Fuente propia.

Equipo geotérmico					Equipos actuales	
Años	Precio de la electricidad (€/kWh)	Coste operativo (€)	Coste operativo acumulado (€)	Inversión + coste operativo acumulado (€)	Coste operativo	Coste operativo acumulado
0	-	-	-	-	-	-

1	0,282	3.144,81	3.144,81	66.130,63	7.764,77	5.764,77
2	0,287	3.207,71	6.352,53	69.338,35	7.880,06	15.644,83
3	0,293	3.271,87	9.624,39	72.610,21	7.997,66	23.642,49
4	0,299	3.337,30	12.961,69	75.947,51	8.117,62	31.760,10
5	0,305	3.404,05	16.365,74	79.351,56	8.239,97	40.000,07
6	0,311	3.472,13	19.837,87	82.823,69	8.364,77	48.364,84
7	0,317	3.541,57	23.379,44	86.365,26	8.492,06	56.856,90
8	0,323	3.612,40	26.991,85	89.977,67	8.621,90	65.478,81
9	0,330	3.684,65	30.676,50	93.662,32	8.754,34	74.233,15
10	0,337	3.758,34	34.434,84	97.420,66	8.889,43	83.122,15
11	0,343	3.833,51	38.268,36	101.254,18	9.027,22	92.149,79
12	0,350	3.910,18	42.178,54	105.164,36	9.167,76	101.317,56
13	0,357	3.988,39	46.166,92	109.152,74	9.311,12	110.628,67
14	0,364	4.068,15	50.235,08	113.220,90	9.457,34	120.086,01
15	0,372	4.149,52	54.384,59	117.370,41	9.606,49	129.692,50
16	0,379	4.232,51	58.617,10	121.602,92	9.758,62	139.451,11
17	0,387	4.317,16	62.934,26	125.920,08	9.913,79	149.364,90
18	0,394	4.403,50	67.337,76	130.323,58	10.072,06	159.436,96
19	0,402	4.491,57	71.829,33	134.815,15	10.233,51	169.670,47
20	0,410	4.581,40	76.410,73	139.396,55	10.398,18	180.068,64
21	0,418	4.673,03	81.083,76	144.069,58	10.566,14	190.634,78
22	0,427	4.766,49	85.850,25	148.836,07	10.737,46	201.372,24
23	0,435	4.861,82	90.712,07	153.697,89	10.912,21	212.284,46
24	0,444	4.959,06	95.671,12	158.656,94	10.090,45	223.374,91
25	0,453	5.058,24	100.729,36	163.715,18	10.272,26	234.647,17

Los datos de la anterior tabla se presentan de forma más intuitiva en el gráfico 10 con el objetivo de observar de una manera más clara el periodo de amortización de la instalación. Para la instalación actual se ha supuesto un coste de mantenimiento de unos 2000 €/año que no se han incluido en la instalación geotérmica, ya que se ahorrarán. Por otro lado, el periodo de retorno se fija en unos 12/13 años sin tener en cuenta la variación del término de potencia. Si finalmente se lleva a cabo la reforma energética del edificio, con el menor consumo en la tarifa eléctrica, el periodo de retorno será en cualquier caso menor que ese dato.

No se debe olvidar que el proyecto es subvencionable, y que se podrá beneficiar de ayudas que minimizarán el periodo de retorno de la instalación geotérmica, como se observa en el punto 9.2 de esta memoria.

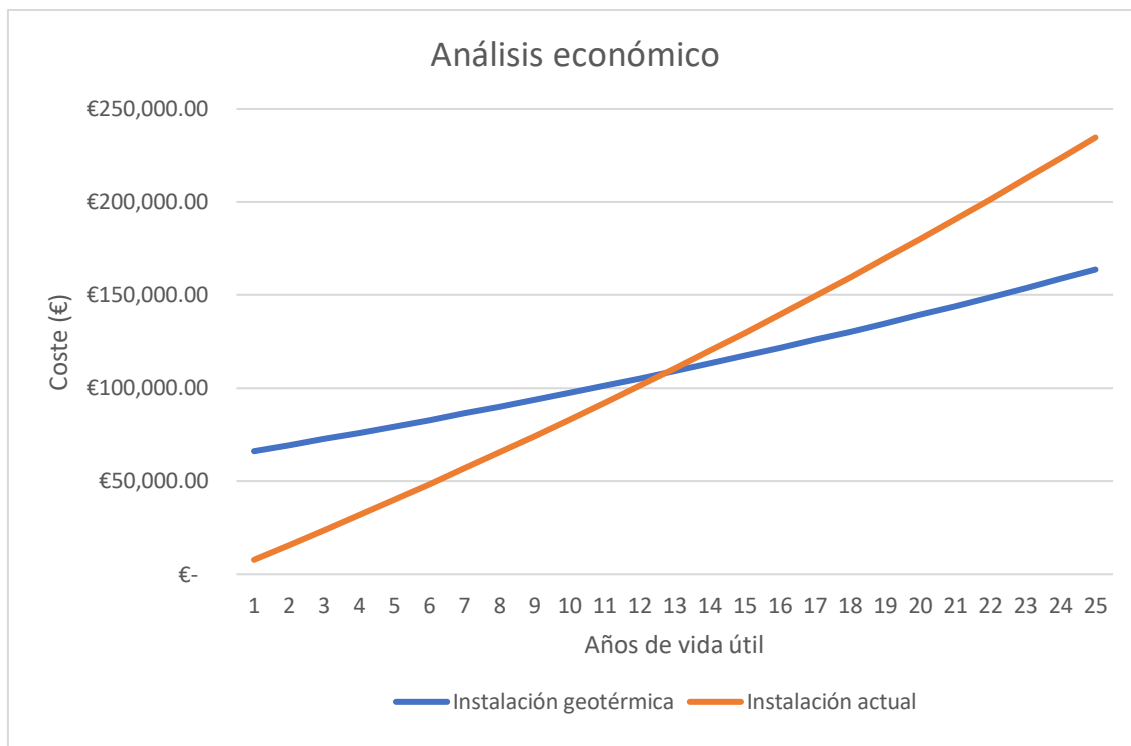


Gráfico 11: Análisis económico y periodo de amortización de la instalación completa. Fuente propia.

9.2 Subvenciones

En el ámbito estatal y autonómico, la práctica totalidad de ayudas subvencionables para este tipo de proyectos va dirigida especialmente al sector residencial. En cambio, existen diversas subvenciones accesibles financiadas por la Unión Europea como los programas de impulso a la rehabilitación de edificios públicos de entidades locales. Estas ayudas son parte del plan “NextGenerationEU”.

Las ayudas europeas referidas anteriormente forman parte del Programa de Impulso a la Rehabilitación de los Edificios Públicos (PIREP) de las entidades locales, diseñado en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia de la Economía (PRTR).

El PIREP persigue la rehabilitación sostenible del parque público institucional, con una visión integral y para todo tipo de edificios de uso público sin perder de vista el principal objetivo de un ahorro energético medio por encima del 30 %.

En el Ayuntamiento de Vilamarxant, a parte de la instalación geotérmica objeto de este proyecto y memoria, **también se va a llevar a cabo la rehabilitación energética del edificio**, con el objetivo de mejorar la calificación energética, reducir el consumo aún más y con ello las emisiones de gases de efecto invernadero.

Existen diversos tipos de actuaciones que pueden ser objeto de financiación:

- Actuaciones tipo A: Encaminadas a la mejora de la eficiencia energética de los edificios públicos.

- Actuaciones tipo B: Destinadas a mejorar la sostenibilidad ambiental en materia de agua, uso de materiales, gestión de residuos, adaptación al cambio climático y protección de la biodiversidad.
- Actuaciones tipo C: Orientadas a mejorar la accesibilidad. Aquellas que eliminen barreras y mejoren la accesibilidad física, cognitiva y sensorial.
- Actuaciones tipo D: Destinadas a mejorar la habitabilidad.
- Actuaciones tipo E: Encaminadas a la mejora de la conservación de edificios.

Para todos los tipos de intervenciones (A, B, C, D y E) el coste de la obra proyectada sin impuestos ha de ser igual o superior a 500.000€, la superficie construida mayor de 1000 m² y que el grado de intervención de la actuación sea igual o superior a los 500 €/m².

La cuantía objeto de financiación se establece de la siguiente forma:

- Actuaciones tipo A: Se subvencionará el 100 % sobre el precio detrayendo el IVA o impuesto equivalente.
- Actuaciones tipo B, C, D y E: Se subvencionará el 85 % del precio.

El proyecto será subvencionable, si y sólo si, al menos se consigue reducir un 30% la demanda de energía primaria en el edificio. Según las características de la obra del edificio, al considerarse una rehabilitación energética del mismo, será una **actuación de tipo A, siendo el porcentaje subvencionable del 100 %**. Posteriormente, se tendrá que justificar que los requisitos se han cumplido, así como las obligaciones de presupuesto de la obra.

10 CONCLUSIONES

La instalación que geotérmica que se ha propuesto en este proyecto supondrá un coste elevado **154.949,86 €** (SIN IVA) y sin contar con las ayudas disponibles. Pese a ser un gran desembolso, el alto rendimiento de la instalación junto al bajo requerimiento en mantenimiento permitirá amortizar la instalación en un periodo relativamente corto de tiempo, cumpliendo con los años de vida útil prevista de la instalación, que son 25 años. A partir del año 13, la instalación comenzará a dar beneficios tanto energéticos como económicos al Ayuntamiento con respecto al sistema anterior de bombas de calor. Por otra parte, y derivada del ahorro energético, se pasarán de emitir 4740,02 kgCO₂ a emitir 2590,90 kgCO₂ anuales, siendo un total de 50 TCO₂ en todo el periodo de vida útil de la instalación, contribuyendo a la mejora de la calificación energética y al efecto invernadero. Adicionalmente, se mejorarán las características del edificio, al proporcionar agua caliente sanitaria (ACS) recurso el cual no se producía en la instalación anterior.

Por todo lo anterior, se confirma que la energía geotérmica y, especialmente la climatización mediante bombas de calor geotérmicas, es una opción muy importante a considerar en el futuro, y uno de los pocos sistemas que puede sustituir a los equipos de climatización actuales, mejorando su consumo, el ahorro económico, y el ahorro de emisiones perjudiciales a la atmósfera. Sin embargo, los elevados costes de instalación y el desconocimiento actual en nuestro país, la ha relegado como una opción no factible para los consumidores de climatización en España.

11 BIBLIOGRAFÍA

Geotermia de Baja Entalpía: Dialnet-LaEnergíaGeotérmicaDeBajaEntalpía.pdf

Geotermia de Baja Entalpía y sistemas de captación: <https://iaipro.es/sistemas-de-aprovechamiento-geotermico-de-baja-entalpia-muy-baja-temperatura/>

Tipos de captadores geotérmicos:
<http://www.grupovisiona.com/es/geotermia/tipos%20de%20captaci%C3%B3n%20geot%C3%A9rmica>

Geotermia en el mundo. Capacidad de producción por países:
<https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-geotermicas-del-mundo/>

La geotermia en el mundo:
<https://www.igme.es/Geotermia/La%20geotermia%20en%20el%20mundo.htm>

Puntos calientes de la corteza terrestre:
<https://rsn.ucr.ac.cr/documentos/educativos/vulcanologia/808-puntos-calientes-del-planeta-tierra>

Geotermia en España: <https://www.piensageotermia.com/energia-geotermica-tesoro-olvidado-de-espana/>

Geotermia proyectos en Canarias: <https://www.energias-renovables.com/geotermica/canarias-un-enorme-potencial-geotermico-por-aprovechar-20150917>

Portal del Instituto Geológico y Minero de España (IGME): <http://www.igme.es/>

Funcionamiento de la bomba de calor geotérmica: <https://www.geotermiavertical.es/bomba-calor-geotermica/>

<https://preciogas.com/instalaciones/geotermia/bomba-de-calor>

Funcionamiento y ventajas compresor Scroll para bombas de calor:
<https://www.danfoss.com/es-es/products/dcs/compressors/compressors-for-air-conditioning-and-heating/heating-scrolls-hhp/#tab-overview>

Depósitos de inercia y ACS de Ecoforest:

<https://geotermiaonline.com/wp-content/uploads/2015/01/Tarifa-Ecoforest-Geotermia-2015.pdf>

http://sigeo.juntaex.es/portalsigeo/c/document_library/get_file?uuid=f1f2f2be-7959-4cf8-89a7-f063d9307120&groupId=10137

Conductividad de materiales del suelo:

<http://cte-web.iccl.es/materiales.php?a=1>

Subvenciones plan PIREP:

<https://www.boe.es/eli/es/o/2022/02/28/tma178>

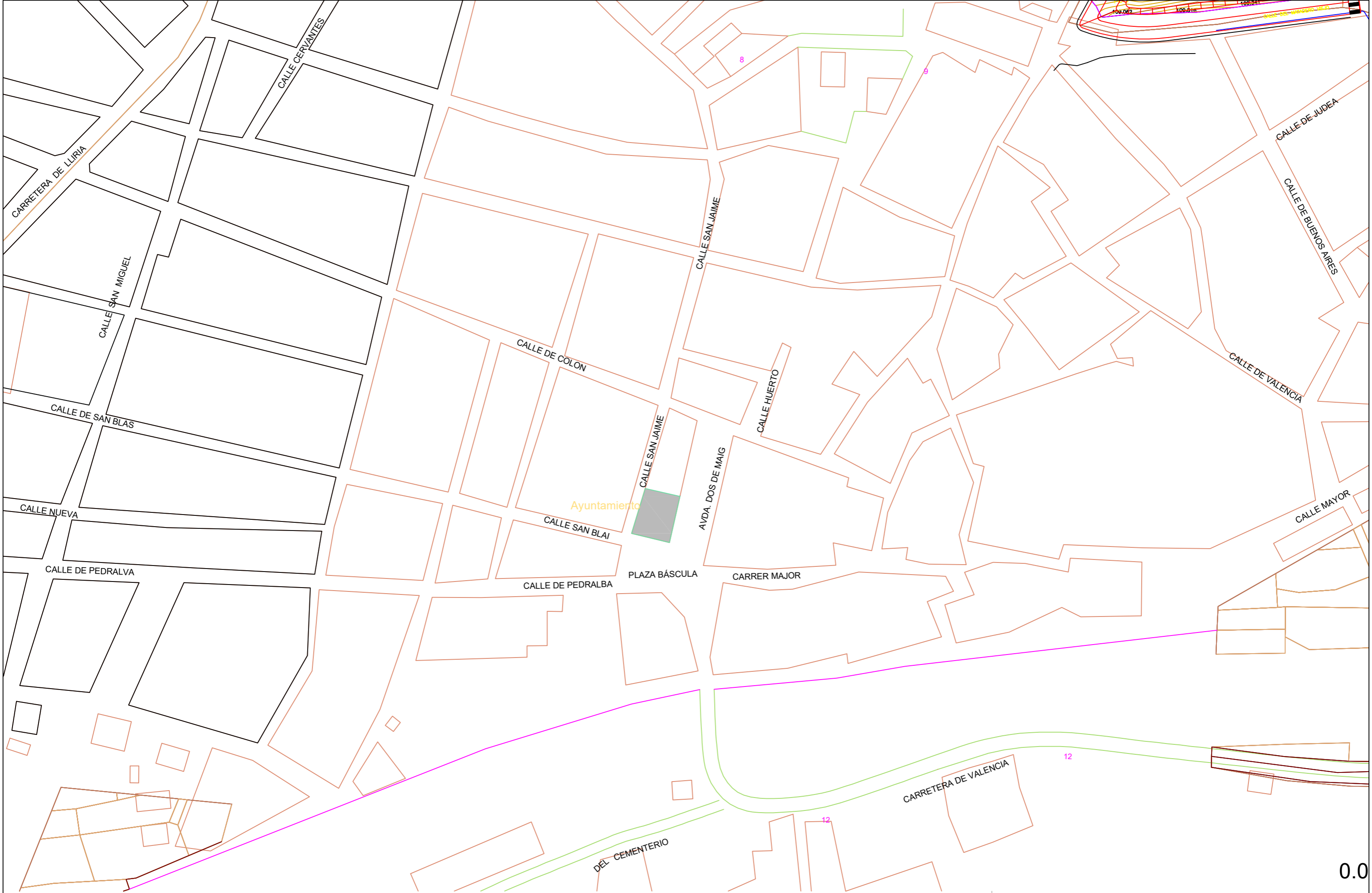
ANEXOS

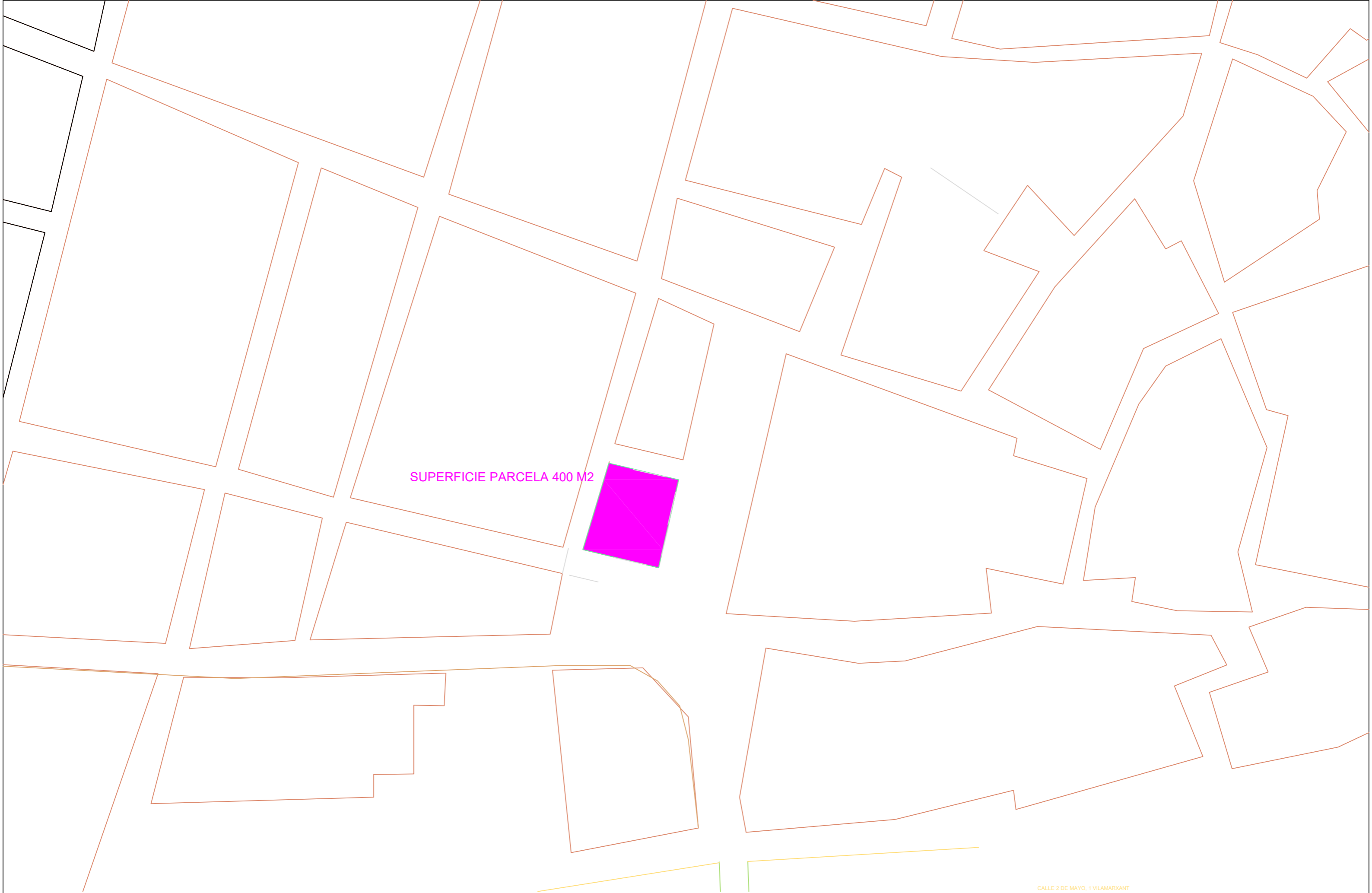
ANEXO I.
TABLA DE CONDUCTIVIDADES
TÉRMICAS

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

Tipo de terreno		Conductividad térmica (W/m·K)	Capacidad térmica volumétrica MJ/(m ³ ·K)	
Rocas magmáticas	Toba	1,1		
	Roca volcánica ácida a intermedia	Riolita - Traquita	3,1 – 3,4	2,1
		Latita - Dacita	2,0 – 2,9	2,9
	Roca volcánica alcalina a ultraalcalina	Basalto, andesita	1,3 – 2,3	2,3 – 2,6
	Roca plutónica ácida a intermedia	Granito	2,1 – 3,3	2,1 – 3,0
		Sienita	1,7 – 3,5	2,4
	Roca plutónica alcalina a ultraalcalina	Diorita	2,0 – 2,9	2,9
Gabro		1,6 – 2,9	2,6	
Rocas metamórficas	Ligeramente metamórfica	Pizarra	1,5 – 2,6	2,2 – 2,5
		Chert	4,5 – 5,0	2,2
	Moderada a fuertemente metamórfica	Mármol	2,1 – 3,1	2
		Cuarcita	5,0 – 6,0	2,1
		Micaesquisto	1,5 – 3,1	2,2 – 2,4
		Gneiss	1,9 – 3,5	1,8 – 2,4
		Anfibolita	2,1 – 3,6	2,0 – 2,3
Otros materiales	Bentonita	0,5 – 0,8	3,9	
	Hormigón	0,9 – 2,0	1,8	
	Hielo (-10 °C)	2,32	1,87	
	PEAD	0,42	1,8	
	Aire (0-20 °C)	0,02	0,0012	
	Acero	60	3,12	
	Agua (10 °C)	0,59	4,15	

ANEXO II.
PLANOS

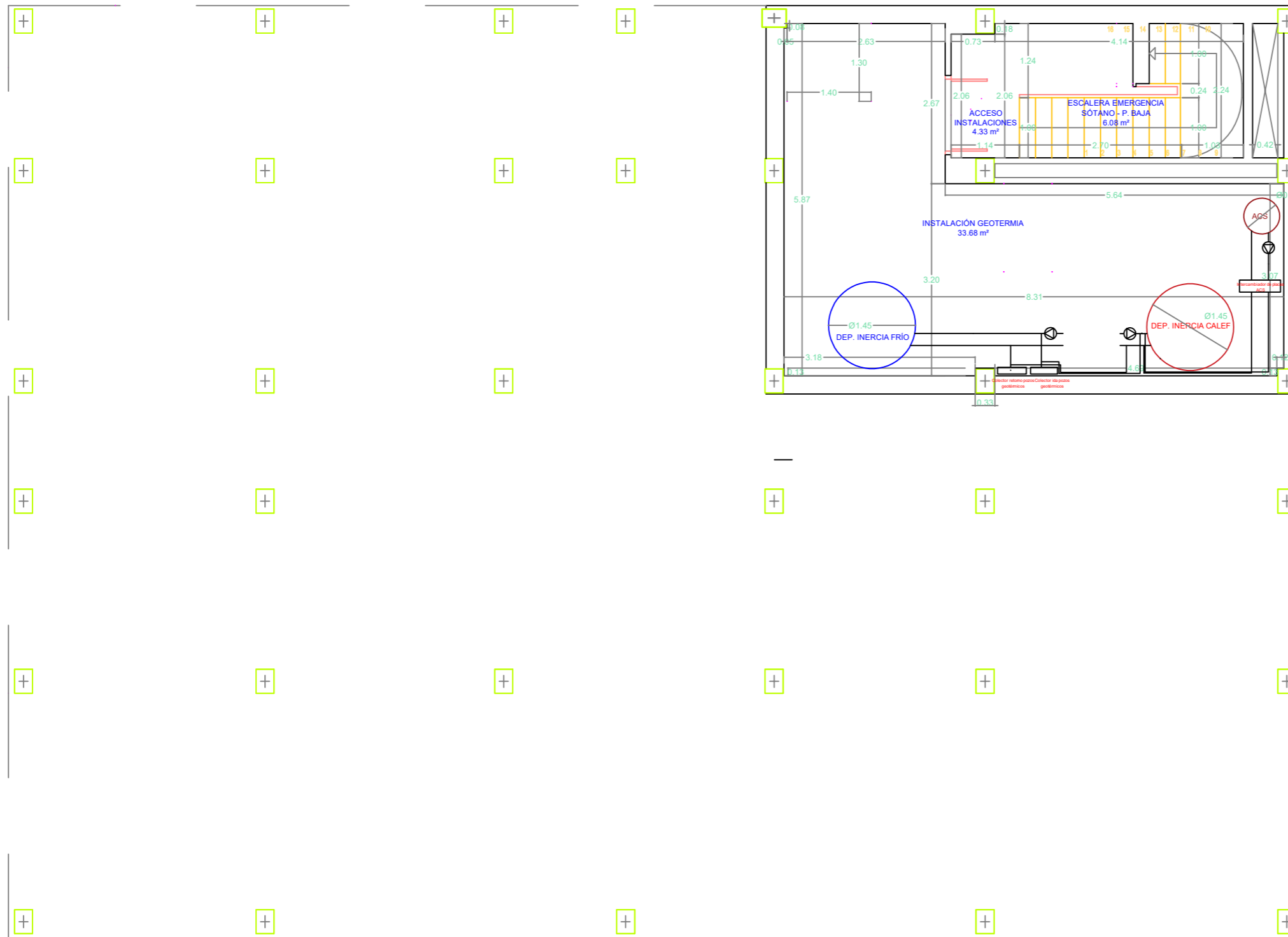


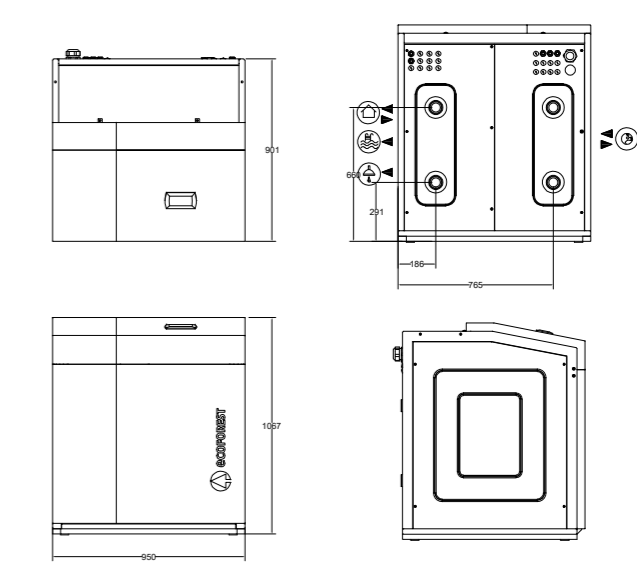
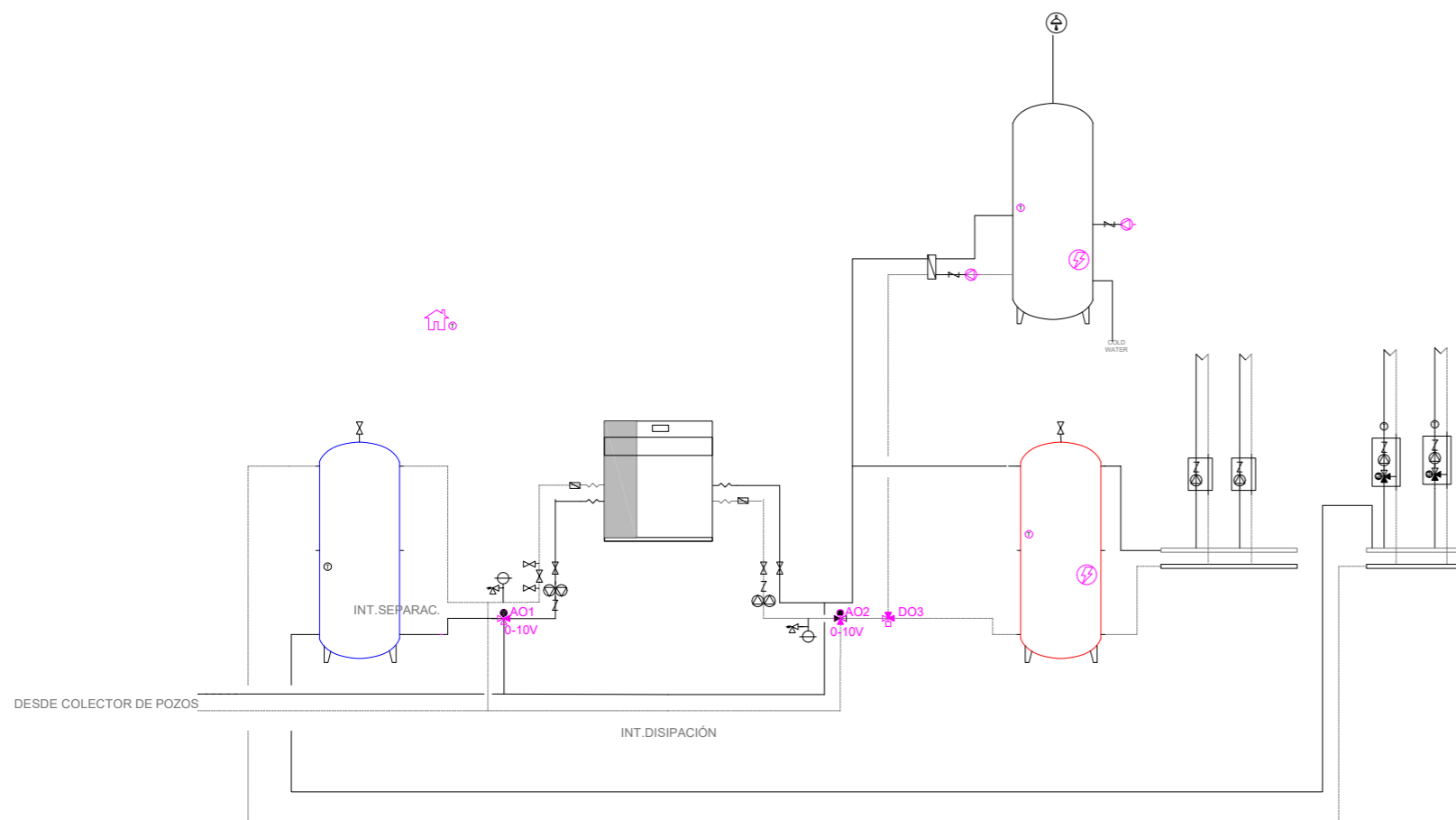


SUPERFICIE PARCELA 400 M2

CALLE 2 DE MAYO, 1 VILAMARXANT







LEYENDA / SYMBOLY			
	Purgador / Air vent		Tubería impulsión/Impulsión pipe
	Válvula de corte / Shut valve		Tubería retorno/ Return pipe
	Filterball / Filtro / Filter		Termostato / Thermostat
	Válvula de seguridad/Security valve		Relé / Relay
	Vaso de expansión / Expansion vessel		Intercambiador / Heat Exchanger
	Circuladora / Pump		Grupo de llenado/Filling group <small>incluye filtrado / filter included</small>
	Válvula de retención / Check valve		Válv. Motorizada / Motorized Valve 0-10V / ON-OFF / Thermostatic
	Filterball		Resistencia/Electrical heating
	Sonda temperatura / Temp. Probe		Desagüe / Drain
	Sonda Exterior / Outdoor probe		Grupo mezzado/Mixing-Shunt group 0-10 V
	Tht		Grupo Directo/ Direct group
	Válvula de equilibrado / balanced valve		

nc: normamente cerrado
normally closed
DO: Digital Output
Salida Digital
DI: Digital Input
Entrada Digital
AO: Analogic Output
Salida Analógica
AI: Analogic Input
Entrada Analógica

RECOMENDACIONES / RECOMMENDATIONS:
Se recomienda dotar a la instalación de sistema de purga, filtrado y protección contra el congelamiento.
Se recomienda la nivelación de los equipos y tener en cuenta la ubicación de los equipos a fin de evitar alteraciones en la electrónica debida a humedades en la zona de instalación o ruidos (tener en cuenta los dB)
Ecoforest recommends to install air vents, filters and anti-freeze protection.
Ecoforest recommends to balance the heat pumps and to take account where is the better place to install, to avoid noises or electrical disturbances.

The current document is a basic hydraulic scheme, in the scheme could be necessary some extra components, so what it is necessary that a specialized company design correctly the installation.
El presente documento es un plano de principio, puede faltar algún elemento necesario, por lo que es necesario un diseño por parte de una empresa especializada. Su utilización total o parcial, así como cualquier reproducción o cesión a tercero, es responsabilidad de la empresa instaladora.

ANEXO III.
PRESUPUESTO Y MEDICIONES

IV - V Mediciones y Presupuesto

VILAMARXANT FASE 1 (1)

Proyecto: VILAMARXANT FASE 1 (1)
Promotor:
Situación:

IV - V Mediciones y Presupuesto

Capítulo nº 1 Acondicionamiento del terreno

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
1.1.- Movimiento de tierras en edificación					
1.1.1.- Excavaciones para geotermia					
1.1.1.1	ADG001	<p>Ud 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.</p> <p>Criterio de valoración económica: El precio incluye el desplazamiento a la obra del personal especializado.</p> <p>Incluye: Transporte a la obra. Montaje del equipo. Desmontaje del equipo. Retirada del equipo.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>			
Total Ud :			1,000	1.294,34 €	1.294,34 €
1.1.1.2	ADG002	<p>M Perforación vertical del terreno con máquina de roto-percusión dotada de doble cabezal, para la realización de 10 sondeos de 100 m de profundidad y diámetro entre 110 y 150 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. Incluso mangueras para la conducción del detritus de perforación hasta los contenedores mediante el sistema Preventer. Preparación y perforación del pozo, gestión de residuos y traslado a vertedero de material sobrante, canon de gestión de residuos, medios auxiliares y todos los elementos necesarios para la correcta ejecución de los trabajos No incluye el coste encamisado en el caso de camisa no recuperable en caso necesario por colapso de la perforación.</p> <p>Criterio de valoración económica: El precio no incluye el mortero geotérmico ni la sonda geotérmica.</p> <p>Incluye: 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. Montaje, conexionado y comprobación de su correcto funcionamiento.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Longitud medida según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá la longitud total de la sonda geotérmica introducida verticalmente en el terreno.</p>			
Total m :			1.000,000	33,14 €	33.140,00 €

Proyecto: VILAMARXANT FASE 1 (1)
Promotor:
Situación:

IV - V Mediciones y Presupuesto

Capítulo nº 1 Acondicionamiento del terreno

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
1.1.1.3	ICU010	Ud Sonda geotérmica para instalación vertical, de 100 m de longitud y 96 mm de diámetro, formada 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 247,5 kg, temperatura de trabajo entre -20°C y 30°C, suministrada en rollos. Incluye tubo de inyección, distanciadores para tubos y el mortero preparado de bentonita y cemento para el sellado de la perforación. Incluye peso de la sonda ubicado en la parte más profunda de la sonda, tubo de inyección, piecerío, accesorios, p.p. de apertura y cierre de zanjas, soldaduras mediante electrofusión en todas las uniones, pruebas de presión y control de calidad y todos los elementos necesarios para la correcta ejecución y funcionamiento de la instalación. Medida la longitud realmente ejecutada. Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto. Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.			
Total Ud :			10,000	2.057,05 €	20.570,50 €

1.2.- Canalizaciones desde los pozos hasta sala de máquinas

1.2.1	CANALIZ	Ud Instalación de tubería de Polietileno HD DN 63 SDR 11 aislada, entre pozos geotérmicos y colector en sala técnica, con soldadura mediante electrofusión, incluso p.p. de accesorios, piecerío, medios auxiliares, apertura y posterior tapado de zanjas y todos los elementos necesarios para la correcta instalación y funcionamiento. Arquetas en los puntos de conexasión. Pruebas de presión hidráulica. Instalado acorde a R.I.T.E.			
Total Ud :			1,000	3.862,50 €	3.862,50 €

Parcial nº 1 Acondicionamiento del terreno : **58.867,34 €**

Proyecto: VILAMARXANT FASE 1 (1)
Promotor:
Situación:

IV - V Mediciones y Presupuesto

Capítulo nº 2 Instalaciones

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe	
2.1.- Calefacción, climatización y A.C.S.						
2.1.1.- Geoterminia						
2.1.1.1	ICV213	<p>Ud Unidad agua-agua bomba de calor, para calefacción y refrigeración, para gas refrigerante R-410A, modelo ecoGEO+ HP1 25-100 "ECOFORREST", alimentación trifásica a 400 V, potencia calorífica regulable entre 21,1 y 86,7 kW, potencia frigorífica regulable entre 22,3 y 90,3 kW, COP 4,5, EER 4,6, dimensiones 1063x950x886 mm, potencia sonora 72 dBA, peso 355 kg, con compresor scroll con tecnología Inverter Copeland, control Micro PC Carel, válvula de expansión electrónica Carel, intercambiadores de placas Alfa Laval, grupo de seguridad, posibilidad de conectar en cascada hasta 6 unidades y posibilidad de gestionar hasta 5 grupos de impulsión por unidad (el número de grupos de impulsión con varias unidades conectadas en cascada sería el número de unidades x 5), para un circuito directo y cuatro circuitos con válvula mezcladora, con dos sondas de inmersión y sonda de temperatura exterior, potencia calorífica tarada a 86,7 kW, potencia frigorífica tarada a 90,3 kW, con bombas de circulación de alta eficiencia Grundfos MAGNA3 25-80 F, con acumuladores de inercia de acero al carbono para refrigeración y calefacción, de 1500 litros de capacidad, modelo T-B 1500. Totalmente montada, conexionada y puesta en marcha por la empresa instaladora para la comprobación de su correcto funcionamiento.</p> <p>Incluye: Replanteo de la unidad. Colocación y fijación de la unidad y sus accesorios. Conexionado con las redes de conducción de agua, eléctrica y de recogida de condensados. Puesta en marcha.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>				
			Total Ud :	1,000	49.123,17 €	49.123,17 €
2.1.1.2	ICS060	<p>Ud Acumulador de acero vitrificado sin serpetin, de suelo, 300 l, 600 mm de diámetro y 2000 mm de altura, forro acolchado con cubierta posterior, aislamiento de poliuretano inyectado libre de CFC y protección contra corrosión mediante ánodo de magnesio. Incluso válvulas de corte, elementos de montaje y accesorios necesarios para su correcto funcionamiento.</p> <p>Incluye: Replanteo. Colocación. Conexionado. Comprobación de su correcto funcionamiento.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>				
			Total Ud :	1,000	1.140,58 €	1.140,58 €
2.1.1.3	COLECT	<p>Ud Suministro e instalación de colector de geoterminia (impulsión y retorno), con válvulas en impulsión y retorno, caudalímetros y válvulas de equilibrado, en cada uno de los circuitos del campo geotérmico incluso, p.p. de accesorios, aislamiento posterior del conjunto, medios auxiliares y todos los elementos necesarios para la correcta instalación y funcionamiento.</p>				
			Total Ud :	2,000	2.450,00 €	4.900,00 €

Proyecto: VILAMARXANT FASE 1 (1)
Promotor:
Situación:

IV - V Mediciones y Presupuesto

Capítulo nº 2 Instalaciones

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
2.1.1.4	ICS070	Ud Intercambiador de placas de acero inoxidable AISI 316, potencia 40 kW, presión máxima de trabajo 6 bar y temperatura máxima de 100°C. Incluso válvulas de corte, manómetros, termómetros, elementos de montaje y accesorios necesarios para su correcto funcionamiento. Incluye: Replanteo. Colocación. Conexionado. Comprobación de su correcto funcionamiento. Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto. Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.			
Total Ud :			1,000	336,00 €	336,00 €
2.1.1.5	BCIRC1	Ud Bomba de circulación para el circuito del intercambiador de placas del depósito de ACS. Rotor húmedo. Temperatura máxima de funcionamiento 65°C. Datos requeridos: caudal 4 m3/h y pérdida de carga 2 mca			
Total Ud :			1,000	360,50 €	360,50 €
2.1.1.6	ICS017	Ud Bomba circuladora electrónica, modelo 97924286 MAGNA3 50-180 F "GRUNDFOS", índice de eficiencia energética EEI 0,18, peso 19 kg, conexiones DN 50 mm, presión máxima 6/10 bar, de 280 mm de longitud, control y comunicación externa con entradas digitales, salidas de relé y entrada analógica, control desde smartphone o tablet mediante la App Grundfos GO Remote para IOS (iPhone e iPad) y Android, comunicación con sistema de gestión de edificios BMS con módulos CIM conectables a redes con protocolo de comunicación GENIbus, LonWorks, Profibus DP, Modbus RTU, BACnet, MS/TP y GSM/GPRS, panel de control del modo de funcionamiento con selección entre modo AUTOADAPT de ajuste continuo del rendimiento de la bomba según la necesidad de la instalación, función FLOWLIMIT de limitación de caudal, modo FLOWADAPT como combinación de los dos anteriores, modo de velocidad constante, modo de presión constante y modo de presión proporcional, curvas de trabajo mínima y máxima, modo de temperatura constante en sistemas con A.C.S., modo automático de trabajo nocturno, apta para temperaturas desde -10 hasta 110°C, motor con alimentación monofásica, protección IPX4D y aislamiento clase F, con contrabridas con conexiones DN 50 mm x DN 50 mm, 96569185. Incluso puente de manómetros formado por manómetro, válvulas de esfera y tubería de cobre; elementos de montaje; caja de conexiones eléctricas con condensador y accesorios necesarios para su correcto funcionamiento. Incluye: Replanteo. Colocación de la bomba de circulación. Conexión a la red de distribución. Comprobación de su correcto funcionamiento. Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto. Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.			
Total Ud :			2,000	5.887,12 €	11.774,24 €
2.1.1.7	ICS040	Ud Vaso de expansión, capacidad 100 l, de 870 mm de altura y 450 mm de diámetro, con rosca de 1" de diámetro y 10 bar de presión. Incluso manómetro y elementos de montaje y conexión necesarios para su correcto funcionamiento. Incluye: Replanteo. Colocación. Conexión a la red de distribución. Comprobación de su correcto funcionamiento. Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto. Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.			

Proyecto: VILAMARXANT FASE 1 (1)
Promotor:
Situación:

IV - V Mediciones y Presupuesto

Capítulo nº 2 Instalaciones

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
Total Ud :			2,000	261,84 €	523,68 €

2.2.- Monitorización

2.2.1	PLC	Ud Suministro e instalación de sistema PLC de monitorización completo y con módulos mediante registro de las lecturas de los sensores.	Total Ud :	1,000	7.210,00 €	7.210,00 €
--------------	-----	---	-------------------	--------------	-------------------	-------------------

2.2.2	Sonda	Ud Suministro de sonda de temperatura NTC para registro de temperatura. Totalmente instalada y probada.	Total Ud :	8,000	154,50 €	1.236,00 €
--------------	-------	--	-------------------	--------------	-----------------	-------------------

2.2.3	PROG	H Hora de programador especializado en PLC y sistema de monitorización para el diseño y desarrollo e implementación de software del sistema PLC para el registro, almacenamiento y monitorización del funcionamiento del sistema geotérmico (temperaturas de trabajo, caudales, medición de la eficiencia energética, comunicación con elementos, cálculo de la energía renovable generada, etc.).	Total h :	100,000	123,60 €	12.360,00 €
--------------	------	---	------------------	----------------	-----------------	--------------------

Parcial nº 2 Instalaciones : **88.964,17 €**

Proyecto: VILAMARXANT FASE 1 (1)
Promotor:
Situación:

IV - V Mediciones y Presupuesto

Capítulo nº 3 Informes y ensayos

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe	
3.1.- Estudios geotécnicos						
3.1.1.- Geotermia						
3.1.1.1	XSU010	Ud Test de respuesta térmica del terreno con el correspondiente informe técnico de simulación geotérmica, con especificación de cada uno de los resultados (principalmente: temperatura del terreno sin perturbar, conductividad térmica del terreno y resistencia térmica de la perforación geotérmica) y conclusiones. Se realizará cumpliendo la norma española UNE-EN ISO 17628:2017: "Investigación y ensayos geotécnicos. Ensayos geotérmicos. Determinación de la conductividad térmica de suelos y rocas utilizando una sonda geotérmica instalada en un sondeo". En base a las conclusiones obtenidas, se recalculará la longitud del intercambiador geotérmico definitivo. No incluye los costes de ejecución del sondeo piloto (perforación, sonda y relleno). Incluye: Desplazamiento a obra. Realización del test de respuesta térmica. Redacción del informe técnico de simulación geotérmica. Criterio de medición de proyecto: Ensayo a realizar, según documentación del Plan de control de calidad.				
			Total Ud :	1,000	4.118,35 €	4.118,35 €
3.1.1.2	XSU011	Ud Informe técnico de diseño de la instalación geotérmica.				
			Total Ud :	1,000	3.000,00 €	3.000,00 €
Parcial nº 3 Informes y ensayos :					7.118,35 €	

Proyecto: VILAMARXANT FASE 1 (1)
Promotor:
Situación:

IV - V Mediciones y Presupuesto

Presupuesto de ejecución material

1 Acondicionamiento del terreno	58.867,34 €
1.1.- Movimiento de tierras en edificación	55.004,84 €
1.1.1.- Excavaciones para geotermia	55.004,84 €
1.2.- Canalizaciones desde los pozos hasta sala de máquinas	3.862,50 €
2 Instalaciones	88.964,17 €
2.1.- Calefacción, climatización y A.C.S.	68.158,17 €
2.1.1.- Geotermia	68.158,17 €
2.2.- Monitorización	20.806,00 €
3 Informes y ensayos	7.118,35 €
3.1.- Estudios geotécnicos	7.118,35 €
3.1.1.- Geotermia	7.118,35 €
Total	154.949,86 €

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de CIENTO CINCUENTA Y CUATRO MIL NOVECIENTOS CUARENTA Y NUEVE EUROS CON OCHENTA Y SEIS CÉNTIMOS.

IV - V Mediciones y Presupuesto

VILAMARXANT FASE 2

Proyecto: VILAMARXANT FASE 2
Promotor:
Situación:

IV - V Mediciones y Presupuesto

Capítulo nº 1 Acondicionamiento del terreno

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
1.1.- Movimiento de tierras en edificación					
1.1.1.- Excavaciones para geotermia					
1.1.1.1	ADG001	<p>Ud 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.</p> <p>Criterio de valoración económica: El precio incluye el desplazamiento a la obra del personal especializado.</p> <p>Incluye: Transporte a la obra. Montaje del equipo. Desmontaje del equipo. Retirada del equipo.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>			
Total Ud :			1,000	1.294,34 €	1.294,34 €
1.1.1.2	ADG002	<p>M Perforación vertical del terreno con máquina de roto-percusión dotada de doble cabezal, para la realización de 14 sondeos de 100 m de profundidad y diámetro entre 110 y 150 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. Incluso mangueras para la conducción del detritus de perforación hasta los contenedores mediante el sistema Preventer. Preparación y perforación del pozo, gestión de residuos y traslado a vertedero de material sobrante, canon de gestión de residuos, medios auxiliares y todos los elementos necesarios para la correcta ejecución de los trabajos No incluye el coste encamisado en el caso de camisa no recuperable en caso necesario por colapso de la perforación.</p> <p>Criterio de valoración económica: El precio no incluye el mortero geotérmico ni la sonda geotérmica.</p> <p>Incluye: 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. Montaje, conexionado y comprobación de su correcto funcionamiento.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Longitud medida según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá la longitud total de la sonda geotérmica introducida verticalmente en el terreno.</p>			
Total m :			1.400,000	33,14 €	46.396,00 €

Proyecto: VILAMARXANT FASE 2
Promotor:
Situación:

IV - V Mediciones y Presupuesto

Capítulo nº 1 Acondicionamiento del terreno

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
1.1.1.3	ICU010	Ud Sonda geotérmica para instalación vertical, de 100 m de longitud y 96 mm de diámetro, formada 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 247,5 kg, temperatura de trabajo entre -20°C y 30°C, suministrada en rollos. Incluye tubo de inyección, distanciadores para tubos y el mortero preparado de bentonita y cemento para el sellado de la perforación. Incluye peso de la sonda ubicado en la parte más profunda de la sonda, tubo de inyección, piecerío, accesorios, p.p. de apertura y cierre de zanjas, soldaduras mediante electrofusión en todas las uniones, pruebas de presión y control de calidad y todos los elementos necesarios para la correcta ejecución y funcionamiento de la instalación. Medida la longitud realmente ejecutada. Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto. Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.			
Total Ud :			14,000	2.057,05 €	28.798,70 €

1.2.- Canalizaciones desde los pozos hasta sala de máquinas

1.2.1	CANALIZ	Ud Instalación de tubería de Polietileno HD DN 63 SDR 11 aislada, entre pozos geotérmicos y colector en sala técnica, con soldadura mediante electrofusión, incluso p.p. de accesorios, piecerío, medios auxiliares, apertura y posterior tapado de zanjas y todos los elementos necesarios para la correcta instalación y funcionamiento. Arquetas en los puntos de conexas. Pruebas de presión hidráulica. Instalado acorde a R.I.T.E.			
Total Ud :			1,000	5.407,50 €	5.407,50 €

Parcial nº 1 Acondicionamiento del terreno : **81.896,54 €**

Proyecto: VILAMARXANT FASE 2
Promotor:
Situación:

IV - V Mediciones y Presupuesto

Capítulo nº 2 Instalaciones

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
2.1.- Calefacción, climatización y A.C.S.					
2.1.1.- Geotermia					
2.1.1.1	ICV213	<p>Ud Unidad agua-agua bomba de calor, para calefacción y refrigeración, para gas refrigerante R-410A, modelo ecoGEO+ HP1 25-100 "ECOFORREST", alimentación trifásica a 400 V, potencia calorífica regulable entre 21,1 y 86,7 kW, potencia frigorífica regulable entre 22,3 y 90,3 kW, COP 4,5, EER 4,6, dimensiones 1063x950x886 mm, potencia sonora 72 dBA, peso 355 kg, con compresor scroll con tecnología Inverter Copeland, control Micro PC Carel, válvula de expansión electrónica Carel, intercambiadores de placas Alfa Laval, grupo de seguridad, posibilidad de conectar en cascada hasta 6 unidades y posibilidad de gestionar hasta 5 grupos de impulsión por unidad (el número de grupos de impulsión con varias unidades conectadas en cascada sería el número de unidades x 5), para un circuito directo y cuatro circuitos con válvula mezcladora, con dos sondas de inmersión y sonda de temperatura exterior, potencia calorífica tarada a 86,7 kW, potencia frigorífica tarada a 90,3 kW, con bombas de circulación de alta eficiencia Grundfos MAGNA3 25-80 F, con acumuladores de inercia de acero al carbono para refrigeración y calefacción, de 1500 litros de capacidad, modelo T-B 1500. Totalmente montada, conexionada y puesta en marcha por la empresa instaladora para la comprobación de su correcto funcionamiento.</p> <p>Incluye: Replanteo de la unidad. Colocación y fijación de la unidad y sus accesorios. Conexionado con las redes de conducción de agua, eléctrica y de recogida de condensados. Puesta en marcha.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>			
			Total Ud :	1,000	49.123,17 €
2.1.1.2	ICS060	<p>Ud Acumulador de acero vitrificado sin serpetin, de suelo, 300 l, 600 mm de diámetro y 2000 mm de altura, forro acolchado con cubierta posterior, aislamiento de poliuretano inyectado libre de CFC y protección contra corrosión mediante ánodo de magnesio. Incluso válvulas de corte, elementos de montaje y accesorios necesarios para su correcto funcionamiento.</p> <p>Incluye: Replanteo. Colocación. Conexionado. Comprobación de su correcto funcionamiento.</p> <p>Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto.</p> <p>Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>			
			Total Ud :	1,000	1.140,58 €
2.1.1.3	COLECT	<p>Ud Suministro e instalación de colector de geotermia (impulsión y retorno), con válvulas en impulsión y retorno, caudalímetros y válvulas de equilibrado, en cada uno de los circuitos del campo geotérmico incluso, p.p. de accesorios, aislamiento posterior del conjunto, medios auxiliares y todos los elementos necesarios para la correcta instalación y funcionamiento.</p>			
			Total Ud :	2,000	2.450,00 €

Proyecto: VILAMARXANT FASE 2
Promotor:
Situación:

IV - V Mediciones y Presupuesto

Capítulo nº 2 Instalaciones

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
2.1.1.4	ICS070	<p>Ud Intercambiador de placas de acero inoxidable AISI 316, potencia 40 kW, presión máxima de trabajo 6 bar y temperatura máxima de 100°C. Incluso válvulas de corte, manómetros, termómetros, elementos de montaje y accesorios necesarios para su correcto funcionamiento. Incluye: Replanteo. Colocación. Conexionado. Comprobación de su correcto funcionamiento. Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto. Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>			
Total Ud :			1,000	336,00 €	336,00 €
2.1.1.5	BCIRC1	<p>Ud Bomba de circulación para el circuito del intercambiador de placas del depósito de ACS. Rotor húmedo. Temperatura máxima de funcionamiento 65°C. Datos requeridos: caudal 4 m3/h y pérdida de carga 2 mca</p>			
Total Ud :			1,000	360,50 €	360,50 €
2.1.1.6	ICS017	<p>Ud Bomba circuladora electrónica, modelo 97924286 MAGNA3 50-180 F "GRUNDFOS", índice de eficiencia energética EEI 0,18, peso 19 kg, conexiones DN 50 mm, presión máxima 6/10 bar, de 280 mm de longitud, control y comunicación externa con entradas digitales, salidas de relé y entrada analógica, control desde smartphone o tablet mediante la App Grundfos GO Remote para IOS (iPhone e iPad) y Android, comunicación con sistema de gestión de edificios BMS con módulos CIM conectables a redes con protocolo de comunicación GENIbus, LonWorks, Profibus DP, Modbus RTU, BACnet, MS/TP y GSM/GPRS, panel de control del modo de funcionamiento con selección entre modo AUTOADAPT de ajuste continuo del rendimiento de la bomba según la necesidad de la instalación, función FLOWLIMIT de limitación de caudal, modo FLOWADAPT como combinación de los dos anteriores, modo de velocidad constante, modo de presión constante y modo de presión proporcional, curvas de trabajo mínima y máxima, modo de temperatura constante en sistemas con A.C.S., modo automático de trabajo nocturno, apta para temperaturas desde -10 hasta 110°C, motor con alimentación monofásica, protección IPX4D y aislamiento clase F, con contrabridas con conexiones DN 50 mm x DN 50 mm, 96569185. Incluso puente de manómetros formado por manómetro, válvulas de esfera y tubería de cobre; elementos de montaje; caja de conexiones eléctricas con condensador y accesorios necesarios para su correcto funcionamiento. Incluye: Replanteo. Colocación de la bomba de circulación. Conexión a la red de distribución. Comprobación de su correcto funcionamiento. Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto. Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>			
Total Ud :			2,000	5.887,12 €	11.774,24 €
2.1.1.7	ICS040	<p>Ud Vaso de expansión, capacidad 100 l, de 870 mm de altura y 450 mm de diámetro, con rosca de 1" de diámetro y 10 bar de presión. Incluso manómetro y elementos de montaje y conexión necesarios para su correcto funcionamiento. Incluye: Replanteo. Colocación. Conexión a la red de distribución. Comprobación de su correcto funcionamiento. Criterio de medición de proyecto: Número de unidades previstas, según documentación gráfica de Proyecto. Criterio de medición de obra: Se medirá el número de unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.</p>			

Proyecto: VILAMARXANT FASE 2
Promotor:
Situación:

IV - V Mediciones y Presupuesto

Capítulo nº 2 Instalaciones

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
Total Ud :			2,000	261,84 €	523,68 €

2.2.- Monitorización

2.2.1	PLC	Ud Suministro e instalación de sistema PLC de monitorización completo y con módulos mediante registro de las lecturas de los sensores.	Total Ud :	1,000	7.210,00 €	7.210,00 €
--------------	-----	---	-------------------	--------------	-------------------	-------------------

2.2.2	Sonda	Ud Suministro de sonda de temperatura NTC para registro de temperatura. Totalmente instalada y probada.	Total Ud :	8,000	154,50 €	1.236,00 €
--------------	-------	--	-------------------	--------------	-----------------	-------------------

2.2.3	PROG	H Hora de programador especializado en PLC y sistema de monitorización para el diseño y desarrollo e implementación de software del sistema PLC para el registro, almacenamiento y monitorización del funcionamiento del sistema geotérmico (temperaturas de trabajo, caudales, medición de la eficiencia energética, comunicación con elementos, cálculo de la energía renovable generada, etc.).	Total h :	100,000	123,60 €	12.360,00 €
--------------	------	---	------------------	----------------	-----------------	--------------------

Parcial nº 2 Instalaciones : **88.964,17 €**

Proyecto: VILAMARXANT FASE 1 (1)
Promotor:
Situación:

IV - V Mediciones y Presupuesto

Capítulo nº 3 Informes y ensayos

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe	
3.1.- Estudios geotécnicos						
3.1.1.- Geotermia						
3.1.1.1	XSU010	Ud Test de respuesta térmica del terreno con el correspondiente informe técnico de simulación geotérmica, con especificación de cada uno de los resultados (principalmente: temperatura del terreno sin perturbar, conductividad térmica del terreno y resistencia térmica de la perforación geotérmica) y conclusiones. Se realizará cumpliendo la norma española UNE-EN ISO 17628:2017: "Investigación y ensayos geotécnicos. Ensayos geotérmicos. Determinación de la conductividad térmica de suelos y rocas utilizando una sonda geotérmica instalada en un sondeo". En base a las conclusiones obtenidas, se recalculará la longitud del intercambiador geotérmico definitivo. No incluye los costes de ejecución del sondeo piloto (perforación, sonda y relleno). Incluye: Desplazamiento a obra. Realización del test de respuesta térmica. Redacción del informe técnico de simulación geotérmica. Criterio de medición de proyecto: Ensayo a realizar, según documentación del Plan de control de calidad.				
			Total Ud :	1,000	4.118,35 €	4.118,35 €
3.1.1.2	XSU011	Ud Informe técnico de diseño de la instalación geotérmica.				
			Total Ud :	1,000	3.000,00 €	3.000,00 €
Parcial nº 3 Informes y ensayos :					7.118,35 €	

Proyecto: VILAMARXANT FASE 2
Promotor:
Situación:

IV - V Mediciones y Presupuesto

Presupuesto de ejecución material

1 Acondicionamiento del terreno	81.896,54 €
1.1.- Movimiento de tierras en edificación	76.489,04 €
1.1.1.- Excavaciones para geotermia	76.489,04 €
1.2.- Canalizaciones desde los pozos hasta sala de máquinas	5.407,50 €
2 Instalaciones	88.964,17 €
2.1.- Calefacción, climatización y A.C.S.	68.158,17 €
2.1.1.- Geotermia	68.158,17 €
2.2.- Monitorización	20.806,00 €
3 Estudios y ensayos	7.118,35 €
3.1.- Estudios geotécnicos	7.118,35 €
3.1.1.- Geotermia	7.118,35 €
Total	177.979,06 €

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de CIENTO SETENTA Y SIETE MIL NOVECIENTOS SETENTA Y NUEVE EUROS CON SEIS CÉNTIMOS.