



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

**ESTUDIO DE LA VIABILIDAD DE UNA
INSTALACIÓN DE GEOTERMIA EN
UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR
AISLADA**

Autor: María González Losada

Director: Íñigo Sanz Fernández

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Estudio de la viabilidad de una instalación de geotermia en una vivienda unifamiliar
aislada

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2022/2023 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: María González Losada

Fecha: 28 / 08 / 2023



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Íñigo Sanz Fernández

Fecha: 28 / 08 / 2023

**SANZ
FERNANDEZ
IÑIGO -
52367115W** Firmado
digitalmente por
SANZ FERNANDEZ
IÑIGO - 52367115W
Fecha: 2023.08.28
19:00:49 +02'00'



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

ESTUDIO DE LA VIABILIDAD DE UNA INSTALACIÓN DE GEOTERMIA EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR AISLADA

Autor: María González Losada

Director: Íñigo Sanz Fernández

Madrid

ESTUDIO DE LA VIABILIDAD DE UNA INSTALACIÓN DE GEOTERMIA EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR AISLADA

Autor: González Losada, María

Director: Sanz Fernández, Íñigo

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN

El objetivo de este trabajo de fin de grado, TFG, es calcular y dimensionar la instalación de geotermia para una vivienda unifamiliar aislada, para la producción de agua sanitaria, suelo radiante y sistemas de refrigeración. Consiste en la impulsión de agua, con una bomba térmica, a través de una red de tuberías que aprovecha la baja entalpía del terreno para realizar un intercambio de calor con el ambiente mediante suelo radiante.

Palabras clave: geotermia, instalación, sistema de captación, sistema de distribución, bomba de calor, fluido refrigerante y anticongelante, sondas, cargas térmicas.

1. Introducción

La mejora de la calidad de vida conlleva un aumento de consumo de energía como que procede de diversas fuentes punto el carbón, utilizado inicialmente para la combustión ha provocado la contaminación del medio ambiente y el cambio climático. El desarrollo de la industria y de las nuevas tecnologías también ha comprometido los recursos provocando el calentamiento global las energías renovables, como la solar, la eólica, la biomasa, la aerotérmica y la geotérmica, desempeñan un papel importante en la lucha contra el cambio climático, siendo esta última es la menos desarrollada y con gran potencial.

La energía geotérmica deriva del flujo continuo de calor del interior de la Tierra, se ha utilizado desde las civilizaciones antiguas en balnearios y fuentes termales. Introducida en el siglo XX por Islandia para la calefacción de invernaderos. Italia intentó más tarde la producción de electricidad, y, actualmente, Estados Unidos es el principal promotor de la energía limpia, abundante y consideró emisiones de carbono. El proyecto pretende

demostrar el potencial de la geotermia como alternativa para optimizar la climatización de viviendas unifamiliares aisladas y generar ACS.

2. Definición del proyecto

La geotermia es, como se ha mencionado en el apartado anterior, la energía extraída del calor interno de la Tierra. Este proyecto busca la viabilidad de una instalación geotérmica en una vivienda unifamiliar aislada para realizar un sistema de climatización eficiente, limpio y sostenible. Para ello, se realiza un estudio climatológico y geológico para analizar las condiciones de diseño y así poder seleccionar debidamente los equipos y materiales necesarios.

Para la climatización de una vivienda, la elección de montar una instalación geotérmica en una vivienda puede llegar a ser la más eficiente y económica, comparada con otros sistemas de climatización convencionales. Este tipo de energía tiene un gran potencial y muy pocos riesgos. Además, es silenciosa, siempre disponible, versátil y sin gran impacto ambiental.

Ofrece muchas ventajas, en. Comparación con los sistemas tradicionales que funcionan a base de la combustión de carbón, esta no emite sustancias tóxicas a la atmósfera. Y evita el efecto invernadero. Es una energía limpia y gratuita. El rendimiento y su eficacia siguen mejorando y se convertirá en la alternativa más rentable para la sustitución de los combustibles fósiles. (Enel Green Power, s.f.)

3. Descripción del modelo/sistema/herramienta

Una instalación geotérmica se puede dividir en 3 sistemas: sistema de captación, sistema de distribución y bomba de calor.

El proyecto presenta y desarrolla las características de cada parte, sus funciones y objetivos, así como las diferentes formas de colocarlos, para obtener un funcionamiento óptimo.

Se expone la distribución de la vivienda, así como su localización, orientación, condiciones climatológicas y geológicas.

Se calculan las cargas térmicas asociadas a la convección, conducción y radiación, para conocer la cantidad de calor que se necesita aportar o extraer para unas determinadas condiciones de confort. Una vez conocidas estas, se puede dimensionar el sistema de climatización y todos los equipos necesarios.

4. Resultados

En el BLOQUE III: RECOPIACIÓN DE DATOS, se recopilan los datos de las condiciones climatológicas y geológicas, así como las cargas térmicas de la vivienda, para poder seleccionar debidamente los equipos, desarrollado en el BLOQUE IV: SELECCIÓN DE EQUIPOS

Cargas Térmicas Totales (W)			
Refrigeración	11451	Valor máximo Hora: 15	11451
Calefacción	-13072	Valor máximo Hora: 9	-13827

Tabla 1: Cargas térmicas totales

Para las sondas, se usan los tubos de FerroSystems, FERRO TERM PE-100 de doble U, con una longitud de sonda igual a 172.87 m, con diámetro 32 mm y espesor de 3 mm.

Para la bomba, se escoge la Ecoforest ECOGEO C3 3-22kW. Se trata de una bomba monofásica que provee al sistema tanto calor como frío activo. Incluye un compresor, un evaporador, un condensador y una válvula de expansión electrónica. La ficha técnica se encuentra en el ANEXO III: FICHA TÉCNICA BOMBA.

El fluido refrigerante de la bomba viene dado por el fabricante, dado que cada bomba admite un tipo de líquido determinado. En este caso se trata de R-410a.

5. Conclusiones

Este proyecto aborda aspectos básicos de la tecnología geotérmica y ofrece una perspectiva global de los sistemas de climatización con intercambiadores de calor enterrados.

Explora modelos matemáticos y métodos de diseño para estudiar la evolución de los parámetros. Se utiliza un Excel proporcionado por IDAE para calcular la demanda energética de la vivienda unifamiliar objeto. Como resultado, se obtuvieron de demanda total 13072 W de calefacción y de demanda total de refrigeración, 11451W.

Estos sistemas de refrigeración y calefacción reducen costes de mantenimiento pues reducen su consumo, pero al contrario de los costes iniciales, porque aumentan debido a los movimientos de tierra realizados.

Como se menciona a lo largo de la memoria, este tipo de sistema sigue en desarrollo, aunque es de las más antiguas maneras de extraer la energía. Su potencial como alternativa las actuales formas de extracción de energía, ya sea, a través de la combustión, la nuclear, etc. Es una energía limpia, sostenible, de alto rendimiento y eficiente, además de económica, un total costes de 35450.63 €, pues la amortización de los gastos de la instalación y el uso de maquinaria se realiza en un periodo muy corto. La vida útil de estas instalaciones como mínimo es de 50 años, mucho mayor que la de cualquier sistema convencional.

En España, el mercado de los intercambiadores de calor geotérmico es limitado, pero sigue trabajando para proyectos en el futuro. En cambio, en Estados Unidos el mercado está muy extendido y el proyecto GeoCool se aplica en climas mediterráneos. El estudio muestra un comportamiento parecido de los distintos equipos al cambiar las condiciones del ambiente, la eficacia y la energía útil. Aun así, no existen normas generales para estos sistemas, pero distintas instituciones y organismos de certificación, las establecen por el momento.

FEASIBILITY STUDY OF A GEOTHERMAL INSTALLATION IN A DETACHED SINGLE-FAMILY HOME

Author: González Losada, María

Director: Sanz Fernández, Íñigo

Colaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

The objective of this final degree work, TFG, is to calculate and dimension the geothermal installation for an isolated single-family house, to produce sanitary water, underfloor heating, and cooling systems. It consists in the impulsion of water, with a thermal pump, through a network of pipes that takes advantage of the low enthalpy of the ground to perform a heat exchange with the environment through underfloor heating.

Key words: geothermal energy, installation, collection system, distribution system, heat pump, refrigerant and antifreeze fluid, probes, thermal loads.

1. Introduction

The improvement of the quality of life leads to an increase in energy consumption as it comes from various sources, such as coal, initially used for combustion, which has led to environmental pollution and climate change. The development of industry and new technologies has also compromised resources, causing global warming. Renewable energies, such as solar, wind, biomass, aerothermal and geothermal, play an important role in the fight against climate change, the latter being the least developed and with great potential.

Geothermal energy derives from the continuous flow of heat from the Earth's interior and has been used since ancient civilizations in spas and hot springs. Introduced in the 20th century by Iceland for heating greenhouses. Italy later tried its hand at electricity production, and today the United States is the leading promoter of clean, abundant,

carbon-considerate energy. The project aims to demonstrate the potential of geothermal energy as an alternative to optimize the air conditioning of isolated single-family homes and generate DHW.

2. Project definition

Geothermal energy is, as mentioned in the previous section, the energy extracted from the Earth's internal heat. This project seeks the feasibility of a geothermal installation in an isolated single-family house for an efficient, clean, and sustainable air conditioning system. For this purpose, a climatological and geological study is carried out to analyze the design conditions and thus be able to properly select the necessary equipment and materials.

For the air conditioning of a house, the choice of mounting a geothermal installation in a house can be the most efficient and economical, compared to other conventional air conditioning systems. This type of energy has great potential and very few risks. In addition, it is silent, always available, versatile and without great environmental impact.

It offers many advantages, in. Compared to traditional systems that work based on coal combustion, it does not emit toxic substances into the atmosphere. And it avoids the greenhouse effect. It is a clean and free energy. Its performance and efficiency continue to improve, and it will become the most cost-effective alternative to replace fossil fuels. (Enel Green Power, s.f.)

3. Model/system/tool description

A geothermal installation can be divided into 3 systems: collection system, distribution system and heat pump.

The project presents and develops the characteristics of each part, its functions, and objectives, as well as the different ways to place them, to obtain an optimal performance.

The distribution of the house is exposed, as well as its location, orientation, climatological and geological conditions.

The thermal loads associated with convection, conduction and radiation are calculated, to know the amount of heat that needs to be provided or extracted for certain comfort conditions. Once these are known, the air conditioning system and all the necessary equipment can be sized.

4. Results

In BLOQUE IV: SELECCIÓN DE EQUIPOS, data on the climatological and geological conditions, as well as the thermal loads of the house, are collected in order to properly select the equipment, developed in BLOQUE IV: SELECCIÓN DE EQUIPOS.

Total thermal load (W)			
Refrigeration	11451	Max. value	11451
		Hour: 15	
Celfaction	-13072	Max. value	-13827
		Hour: 9	

Tabla 2: Total thermal loads

For the probes, FERRO TERM PE-100 de double U, of. 172.87 m of length, 32 mm of diameter and 3mm of width.

For the pump, the Ecoforest ECOGEO C3 3-22kW is chosen. It is a single-phase pump that provides the system with both active heating and active cooling. It includes a compressor, an evaporator, a condenser, and an electronic expansion valve. The data sheet can be found in APPENDIX IV: Pump data sheet.

The refrigerant fluid of the pump is given by the manufacturer since each pump accepts a specific type of liquid. In this case it is R-410a.

5. Conclusions

This project addresses basic aspects of geothermal technology and provides a global perspective of air-conditioning systems with buried heat exchangers.

It explores mathematical models and design methods to study the evolution of the parameters. An Excel provided by IDAE is used to calculate the energy demand of the subject single-family house. As a result, 13072 W of total heating demand and 11451 W of total cooling demand were obtained.

These cooling and heating systems reduce maintenance costs because they reduce their consumption, but contrary to the initial costs, because they increase due to the earthworks carried out.

As mentioned throughout the report, this type of system is still under development, although it is one of the oldest ways of extracting energy. Its potential as an alternative to the current forms of energy extraction, either through combustion, nuclear, etc. It is a clean, sustainable, high performance and efficient energy, as well as economical, with a total cost of 35450.63 €, since the amortization of the installation costs and the use of machinery is done in a very short period of time. The useful life of these installations is at least 50 years, much longer than that of any conventional system.

In Spain, the market for geothermal heat exchangers is limited, but work continues for future projects. In contrast, in the United States the market is widespread and the GeoCool project is applied in Mediterranean climates. The study shows similar behavior of different equipment as ambient conditions, efficiency, and useful energy change. Even so, there are no general standards for these systems, but different institutions and certification bodies are establishing them for the time being.

Índice de contenido

BLOQUE I: INTRODUCCIÓN	22
CAPÍTULO I: GEOTERMIA.....	22
1. <i>Introducción</i>	22
2. <i>Estado de la cuestión</i>	23
3. <i>Motivación</i>	24
4. <i>Objetivos</i>	24
5. <i>Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible</i>	25
CAPÍTULO II: ENERGÍA GEOTÉRMICA	27
1. <i>Definición de geotermia</i>	27
BLOQUE II: INSTALACIÓN GEOTÉRMICA.....	30
CAPÍTULO III: INSTALACIÓN GEOTÉRMICA	30
1. <i>Elementos de captación</i>	31
2. <i>Elementos de distribución</i>	32
3. <i>Bomba de calor</i>	33
CAPÍTULO IV: ELEMENTOS DE CAPTACIÓN.....	34
CAPÍTULO V: ELEMENTOS DE INTERCAMBIO	36
1. <i>Materiales</i>	37
2. <i>Clasificación según disposición</i>	39
CAPÍTULO VI: BOMBA DE CALOR	40
1. <i>Tipos de bombas</i>	40
1.1 Según el tipo de fuente de calor y el fluido de distribución local.....	40
1.2 Según la distribución de la captación.....	41
1.3 Según la ubicación del evaporador	41
1.4 Según la energía de compresión	41

2.	<i>Descripción de los componentes de la bomba de calor</i>	42
2.1	Compresor.....	42
2.2	Condensador.....	42
2.3	Válvula de expansión.....	43
2.4	Evaporador.....	43
2.5	Instrumentación y control.....	43
2.6	Otros componentes.....	43
3.	<i>Fundamentos básicos de una bomba de calor</i>	43
3.1	Parámetros de operación ideales.....	44
3.2	Parámetros de operación teóricos.....	46
3.3	Parámetros de operación reales.....	47
3.4	Parámetros de operación globales.....	48
3.5	Reversibilidad de una bomba.....	48
BLOQUE III: RECOPIACIÓN DE DATOS		51
CAPÍTULO VII: DESCRIPCIÓN DE LA VIVIENDA.....		51
1.	<i>Distribución de la vivienda</i>	51
2.	<i>Localización y orientación</i>	53
3.	<i>Condiciones climatológicas</i>	54
4.	<i>Condiciones geológicas</i>	57
CAPÍTULO VIII: CARGAS TÉRMICAS.....		58
1.	<i>Condiciones exteriores de la vivienda</i>	58
2.	<i>Condiciones interiores de la vivienda</i>	58
3.	<i>Envolvente térmica</i>	59
3.1	Cerramientos.....	59
	Muros.....	59
	Ventanas.....	60
	Puertas.....	61
	Cubierta.....	61
	Suelo.....	62

4.	<i>Cálculo de cargas térmicas</i>	63
4.1	Cargas térmicas de calefacción	63
	De transmisión.....	63
	Ventilación	63
4.2	Cargas térmicas de refrigeración.....	64
	Transmisión.....	64
	Radiación.....	64
	Ventilación	65
4.3	Módulo de las cargas térmicas	65
	Refrigeración.....	65
	Calefacción.....	67
BLOQUE IV: SELECCIÓN DE EQUIPOS.....		69
CAPÍTULO IX: SISTEMA DE CAPTACIÓN		69
1.	<i>Temperatura del terreno</i>	69
2.	<i>Configuración intercambiador enterrado</i>	70
3.	<i>Diámetro de los conductos</i>	73
4.	<i>Perforación</i>	74
5.	<i>Pruebas de presión</i>	75
CAPÍTULO X: SUELO RADIANTE		77
1.	<i>Preparación suelo</i>	77
2.	<i>Instalación del colector de suelo radiante</i>	77
3.	<i>Aplicación de la capa aislante</i>	78
4.	<i>Colocación de tuberías</i>	78
5.	<i>Comprobación de la instalación</i>	79
6.	<i>Aplicación del mortero</i>	79
7.	<i>Colocación del suelo</i>	79
CAPÍTULO XI: BOMBA.....		80
CAPÍTULO XI: FLUIDO CIRCULANTE		81
1.	<i>Fluido refrigerante de la bomba</i>	81

2.	<i>Fluido circulante de las sondas</i>	81
3.	<i>Fluido circulante en el suelo radiante</i>	81
BLOQUE V: ESTUDIO ECONÓMICO		84
CAPÍTULO XII: PRESUPUESTO		84
CAPÍTULO XIII: COSTES		85
1.	<i>Costes de uso anual</i>	85
2.	<i>Costes de personal y material</i>	85
CAPÍTULO XIV: PRESUPUESTO FINAL		87
CAPÍTULO XV: AYUDAS Y SUBVENCIONES		87
BLOQUE VI: CONCLUSIONES		89
BIBLIOGRAFÍA		91
ANEXOS		95
ANEXO I: NORMATIVA		96
ANEXO II: CARGAS TÉRMICAS		98
ANEXO III: FICHA TÉCNICA BOMBA		100
ANEXO IV: FICHA TÉCNICA TUBOS SUELO RADIANTE		102

Índice de ilustraciones

ILUSTRACIÓN 1: ÁREAS GEOTÉRMICAS EN ESPAÑA (IGME)	23
ILUSTRACIÓN 2: OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS, 2023)	26
ILUSTRACIÓN 3: TIPOS DE FAN COILS (GRUPO LASSER, S.F.).....	32
ILUSTRACIÓN 4: INTERCAMBIADORES VERTICALES (ENERGÍAS RENOVABLES, S.F.).....	34
ILUSTRACIÓN 5: INTERCAMBIADORES HORIZONTALES (AKITER, S.F.)	35
ILUSTRACIÓN 6: TUBOS COLOCADOS PARALELAMENTE A LOS PILOTES (TECTÓNICA, 2023).....	36
ILUSTRACIÓN 7: MATERIALES SUELO RADIANTE (MAXLOR, S.F.).....	38
ILUSTRACIÓN 8: SUELO RADIANTE CON DISTRIBUCIÓN EN SERPENTÍN (MUNDO HVAC&R, S.F.).....	39
ILUSTRACIÓN 9: SUELO RADIANTE CON DISTRIBUCIÓN EN DOBLE SERPENTÍN (MUNDO HVAC&R, S.F.) ...	39
ILUSTRACIÓN 10: SUELO RADIANTE CON DISTRIBUCIÓN EN ESPIRAL (MUNDO HVAC&R, S.F.)	40
ILUSTRACIÓN 11: COMPONENTES DE UNA BOMBA DE CALOR (IDAE, 2010)	42
ILUSTRACIÓN 12: ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA. (IDAE, S.F.)	44
ILUSTRACIÓN 13: MÁQUINA DE REFRIGERACIÓN IDEAL DE CARNOT. (IDAE, S.F.)	45
ILUSTRACIÓN 14: BOMBA DE CALOR Y DIAGRAMA T – S TEÓRICO. (IDAE, S.F.)	46
ILUSTRACIÓN 15: DIAGRAMA P-H TEÓRICO Y REAL DE UNA BOMBA DE CALOR (IDAE, 2010)	47
ILUSTRACIÓN 16: REVERSIBILIDAD DE LA BOMBA DE CALOR POR MEDIO DE UNA VÁLVULA DE CUATRO VÍAS (IDAE, 2010).....	49
ILUSTRACIÓN 17: ORIENTACIÓN DE FACHADAS (FOMENTO, 2013).....	53
ILUSTRACIÓN 18: SONDAS GEOTÉRMICAS DOBLES (FERROTERM, S.F.).....	71
ILUSTRACIÓN 19: INSTALACIÓN DE INTERCAMBIADORES VERTICALES (IDAE, 2010).....	75

Índice de figuras

FIGURA 1: PLANO DE DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA -1	52
FIGURA 2: PLANO DE DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA 0	52
FIGURA 3: PLANO DE DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA 1	53
FIGURA 4: COMPOSICIÓN MUROS EXTERIORES (EFINOVATIC & CENER).....	60
FIGURA 5: COMPOSICIÓN Y ESPESORES DE LA CUBIERTA (EFINOVATIC & CENER).....	62

Índice de tablas

TABLA 1: CARGAS TÉRMICAS TOTALES	7
TABLA 2: TOTAL THERMAL LOADS	11
TABLA 3: DISTRIBUCIÓN SUPERFICIAL DE LA VIVIENDA	51
TABLA 4: DATOS HISTÓRICOS DEL TIEMPO POZUELO DE ALARCÓN (1991-2021) (CLIMATE DATA, 2023) .	54
TABLA 5: ZONAS CLIMATOLÓGICAS DE LA PENÍNSULA IBÉRICA. (MINISTERIO DE TRANSPORTES, 2022)....	55
TABLA 6: DATOS CLIMATOLÓGICOS DE LA ESTACIÓN DE CUATRO VIENTOS, MADRID (IDAE, 2010)	56
TABLA 7: CONDUCTIVIDAD Y CAPACIDAD TÉRMICA DEL TIPO DE SUSTRATO (PAUD, 2002).....	57
TABLA 8: CONDUCTIVIDAD Y CAPACIDAD TÉRMICA PROMEDIADOS.....	57
TABLA 9: CONDICIONES EXTERIORES DE DISEÑO.....	58
TABLA 10: CONDICIONES INTERIORES DE DISEÑO.....	59
TABLA 11: COMPOSICIÓN MUROS EXTERIORES (EFINOVATIC & CENER).....	59
TABLA 12: COMPOSICIÓN MUROS EXTERIORES (EFINOVATIC & CENER).....	62
TABLA 13: TOTAL DE CARGAS SENSIBLES Y LATENTES EN REFRIGERACIÓN	66
TABLA 14: TOTAL DE CARGAS SENSIBLES Y LATENTES EN CALEFACCIÓN	68
TABLA 15: EXTRACCIÓN VERTICAL TÉRMICA DE CALOR (FERROTERM, S.F.).....	72
TABLA 16: VALORES REPRESENTATIVOS DE LA BOMBA SELECCIONADA (ECOFOREST, S.F.).....	80
TABLA 17: TABLA PRESUPUESTO INICIAL DEL PROYECTO	84
TABLA 18: CARGA ELÉCTRICA TOTAL	85
TABLA 19: PRECIO TOTAL ELÉCTRICO ANUAL	85
TABLA 20: COSTES DE PERSONAL TOTALES.....	86
TABLA 21: COSTES TOTALES DE MATERIAL.....	86
TABLA 22: PRESUPUESTO TOTAL DEL TRABAJO.....	87
TABLA 23: PRESUPUESTO FINAL DEL PROYECTO	87

Índice de gráficas

GRÁFICA 1: DATOS METEOROLÓGICOS DE POZUELO DE ALARCÓN EN 2022 (METOBLUE, 2023).....	54
GRÁFICA 2: CARGAS SENSIBLES SEGÚN LA HORA EN REFRIGERACIÓN	66
GRÁFICA 3: CARGAS LATENTES SEGÚN LA HORA EN REFRIGERACIÓN	66
GRÁFICA 4: CARGAS SENSIBLES SEGÚN TIPO DE SUPERFICIE EN REFRIGERACIÓN.....	67
GRÁFICA 5: CARGAS SENSIBLES SEGÚN LA HORA EN CALEFACCIÓN.....	67
GRÁFICA 6: CARGAS SENSIBLES SEGÚN LA HORA EN CALEFACCIÓN.....	68
GRÁFICA 7: CARGAS SENSIBLES SEGÚN TIPO DE SUPERFICIE EN CALEFACCIÓN.....	68
GRÁFICA 8: EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA CON LA PROFUNDIDAD (THERMODYNAMICS, S.F.)	70

BLOQUE I: INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I: GEOTERMIA

1. Introducción

Un mejoramiento en la calidad de vida se traduce a un mayor consumo de energía. La energía se obtiene de distintas fuentes. Inicialmente, el hombre utilizaba el carbón para extraer de él la energía deseada a través de la combustión. El uso de este sin medida ha provocado una crisis medioambiental debido a la contaminación emitida tanto a la atmosfera como a los diferentes ecosistemas. El desarrollo de la industria y de nuevas tecnologías también ha implicado el uso de diferentes recursos que han comprometido el clima y el medioambiente, causando un calentamiento global debido al efecto invernadero de las emisiones tóxicas. Esta crisis es conocida como cambio climático. Una vez que el hombre ha sido consciente de este problema ha buscado remedios para hacerle frente. Las energías renovables juegan un papel principal como solución.

Entre las diferentes energías renovables se encuentran la energía solar, la eólica, la energía extraída de la biomasa, la aerotermia y la geotermia. Esta última es la menos desarrollada pues es la menos conocida, aunque presenta un gran potencial.

Conocemos que la temperatura aumenta con la profundidad hacia el interior de la Tierra y, por tanto, existe un flujo continuo de calor desde el interior hacia la superficie. La geotermia consiste en aprovechar este flujo de calor continuo.

Se conoce que la geotermia es igual de antigua como el hombre. El uso del calor de la Tierra existía en las antiguas civilizaciones en balnearios y termas. Pero en la industria no es introducido hasta el siglo XX por Islandia, país pionero, para calefactar invernaderos. El intento de producción de la electricidad con energía geotérmica comienza con Italia posteriormente. Actualmente, EE. UU. constituye el principal promotor de esta energía pues es una energía limpia abundante de carbono cero.

El proyecto por desarrollar tiene como objetivo demostrar que la geotermia es una gran alternativa para optimizar la climatización de una vivienda unifamiliar aislada, al igual que la generación de ACS.

2. Estado de la cuestión

Actualmente, la mayoría de la energía obtenida por geotermia se utiliza para la climatización y ACS. En España, se ha realizado un reconocimiento general geológico para determinar los territorios con mayor conveniencia y rentabilidad para perforar con profundidad y establecer yacimientos geotérmicos. Las áreas con mayor interés para esta causa, en la península, son Granada, Almería y Murcia en el sureste, Barcelona, Gerona y Tarragona en el noreste, Orense, Pontevedra y Lugo en el noroeste y Madrid, en el centro. Estos yacimientos son de baja temperatura y, por tanto, explotados de manera parcial y con menor proporción que los yacimientos de alta temperatura, que se encuentran en el archipiélago volcánico canario. “Los recursos de alta entalpía (temperatura), más profundos y localizados en puntos clave como en Cataluña o en las Islas Canarias, requieren de mayor investigación e inversión” (Gregorio, 2022).

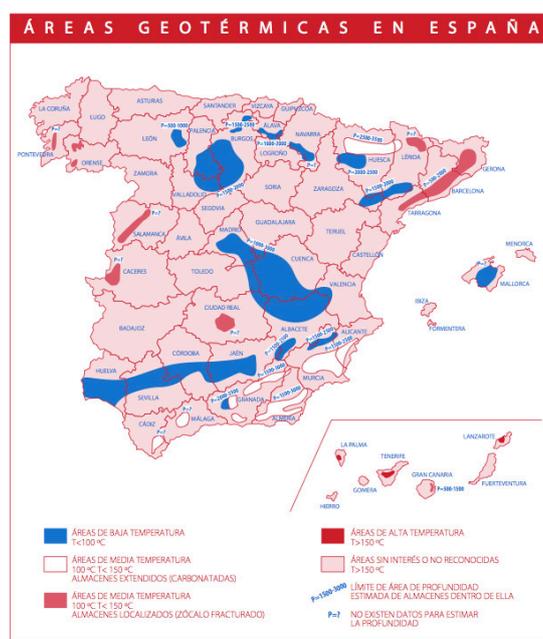


Ilustración 1: Áreas geotérmicas en España (IGME)

La instalación se divide en tres partes: elementos de captación, bomba de calor y elementos de distribución. Los elementos de captación consisten en un conjunto de sondas colocada de manera vertical u horizontal a una profundidad determinada para extraer el calor de la Tierra, que ronda los 12oC. La bomba de calor debe tener la potencia necesaria para satisfacer la demanda energética de la vivienda. Por último, el sistema de distribución de suelo radiante consiste una red de tubos, por los que circula el fluido caloportador, para así suministrar el calor a la vivienda.

3. Motivación

Este proyecto viene motivado por el interés en esta energía poco desarrollada en España que pudiendo aprovechar sus ventajas, la calidad de vida se vería mejorada, ya no solo en confort y en lo económico, sino también a lo que respecta al medioambiente, pues es una energía muy accesible y también limpia.

La geotermia es una energía con mucho potencial. En la antigüedad era la fuente para el agua caliente sin tener que usar fuego, pues ya venía dada a esa temperatura de la naturaleza. Sin razón alguna, el hombre se olvidó de ella y no fue hasta el siglo XX que volvió a aparecer.

Actualmente, las principales fuentes de energía son fuentes fósiles como el petróleo, el gas y el carbón. Con la investigación y desarrollo adecuado, la geotermia podría convertirse en la energía más utilizada en el mundo para producir electricidad y para la climatización de viviendas, hospitales, edificios, etc.

Además, existe una motivación familiar detrás de este proyecto. Con el fin de hacer el estudio y los cálculos necesarios para encontrar la viabilidad de este en casa de un familiar.

4. Objetivos

El objetivo principal de este proyecto es motivar una instalación de geotermia en una vivienda unifamiliar aislada para la climatización de esta. Para alcanzar este objetivo se establecen unos objetivos secundarios:

- Definir geotermia
- Dimensionar elementos de la instalación
 - Elementos de captación
 - Elementos de distribución
 - Elementos de intercambio
 - Dimensionar la bomba de calor

- Descripción de la vivienda. Calcular la energía necesaria para la calefactar y refrigerar la vivienda
- Estudio económico de la instalación y tiempo de amortización
- Estudio de contaminación de la instalación
- Realizar una comparación entre geotermia y otros sistemas de generación energética convencionales

5. Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Existen 17 objetivos mundiales establecidos para la prosperidad del planeta y del hombre. Hoy en día, todo proyecto debe tener al menos uno de estos objetivos para poder cumplir con la nueva agenda de desarrollo sostenible, la agenda 2030.

Este proyecto persigue los siguientes objetivos:

- Salud y bienestar: “Garantizar una vida sana y promover el bienestar en todas las edades es esencial para el desarrollo sostenible”. (“Salud - Desarrollo Sostenible”) Este proyecto busca la comodidad y la mejora de calidad de vida a través de una energía limpia.
- Agua limpia y saneamiento: “Acceso universal y equitativo al agua potable y a servicios de saneamiento e higiene adecuados, así como mejorar la calidad del agua a nivel global.” (“ODS 6 Agua limpia y saneamiento | Pacto Mundial ONU”) Este proyecto quiere conseguir dar acceso a agua para la climatización de la vivienda y las ACS, a través de una energía sostenible.
- Energía asequible y no contaminante: “Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.” (“Energía asequible y no contaminante - Las Naciones Unidas en Perú”) La geotermia es una energía poco desarrollada, cuya producción no provoca un impacto medioambiental, ya que no emite CO₂ u otros elementos contaminantes.
- Industria, innovación e infraestructuras: “Un crecimiento económico inclusivo y sostenido puede impulsar el progreso, crear empleos decentes para todos y mejorar los estándares de vida.” (“Crecimiento económico - Desarrollo Sostenible”) La inserción de una instalación geotérmica implica la evolución y desarrollo de la vivienda en una dirección sostenible.

- Ciudades y comunidades sostenibles: “Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.” (“Ciudades y comunidades sostenibles - Las Naciones Unidas en Bolivia”) Como se ha dicho previamente, este proyecto busca encontrar un medio para satisfacer una necesidad con energía limpia, que no comprometa al medioambiente.
- Producción y consumo responsables: “Cambiar el modelo actual de producción y consumo para conseguir una gestión eficiente de los recursos naturales”. (“ODS 12 Producción y consumo responsables | Pacto Mundial ONU”) Esto se traduce a un consumo y producción responsable que deriva a una mejora en la calidad de vida logrando un ahorro económico y ambiental.
- Acción por el clima: “Introducir el cambio climático como cuestión primordial en las políticas, estrategias y planes de países, empresas y sociedad civil”. (“ODS 13 Acción por el Clima | Pacto Mundial de la ONU España”) Este proyecto es libre de emisiones contaminantes.

 **OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE**



Ilustración 2: Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS, 2023)

CAPÍTULO II: ENERGÍA GEOTÉRMICA

1. Definición de geotermia

La geotermia, como su nombre indica, es la energía obtenida del calor del interior de la Tierra, “geo-”, que significa tierra y, “-termia”, calor. Esta energía incluye todo el calor en la subsuperficie, aguas subterráneas y rocas; no incluye las masas de agua superficiales, como océanos y mares. Es la energía renovable más eficiente, pues se puede obtener durante las 24 horas del día, los 365 días del año.

Un yacimiento geotérmico es una región del subsuelo donde se ha acumulado calor aprovechable para el uso del hombre. Estos se clasifican según el nivel energético que presenta un yacimiento:

- De alta temperatura (alta entalpía): son aquellos que se encuentran en las zonas más activas de la superficie terrestre, pues tienen grandes presiones y temperaturas muy altas, alcanzando temperaturas superiores a 150°C, pudiendo alcanzar los 300°C. Estos yacimientos se aprovechan para la producción de electricidad, basada en el aprovechamiento del vapor de agua producido por la bajada de presión cuando este sube a la superficie. Posteriormente, el vapor es separado e introducido en una turbina que genera la energía eléctrica. Suelen explotarse hasta profundidades 1 a 3 kilómetros.
- De media temperatura (media entalpía): son aquellos, normalmente, masas de agua subterráneas a baja presión, que se encuentran en temperaturas entre 100°C y 150°C. Se aprovechan para la generación de energía eléctrica, pero, de peor rendimiento que los yacimientos de alta entalpía. Se diferencian de los de alta entalpía, además de en la temperatura, en la facilidad que tiene, en estos, el agua en ascender a la superficie pues no existe una capa impermeable que lo impida.
- De temperatura baja (baja entalpía): son aquellos que se encuentran entre los 30°C y 90°C. Se aprovechan para alimentar sistemas de calefacción urbanos, como son balnearios y algunos procesos industriales.

- De muy baja temperatura (muy baja entalpía): son aquellos que no superan los 30°C. Se encuentran fácilmente, pues su localización es la más extensa entre todos los tipos, pues están a muy poca profundidad de la superficie. Se aprovechan para instalar sistemas de climatización, más pequeños, para el intercambio de calor mediante una bomba. Estos sistemas suelen ser reversibles, es decir, se utilizan tanto para la calefacción, como para la refrigeración, de una vivienda.

BLOQUE II: INSTALACIÓN GEOTÉRMICA

CAPÍTULO III: INSTALACIÓN GEOTÉRMICA

Existen diferentes maneras de realizar una instalación geotérmica. Se escoge una según la localización, las condiciones geológicas del terreno y los requisitos que se tienen que cumplir.

En este proyecto se estudiarán los posibles sistemas para el aprovechamiento de recursos de muy baja entalpía para la climatización de una vivienda aislada.

Se pueden clasificar en dos grupos, según el tipo de sistema de circuitos, abierto o cerrado.

- Sistemas cerrados: los conductos forman un circuito cerrado por el cual circula el fluido geotérmico, impulsado por la bomba de calor.
- Sistemas abiertos: el circuito de conductos está abierto a un acuífero, una formación geológica constituida por varias capas de roca permeable, capaz de acumular, almacenar y ceder aguas subterráneas. En este caso, la bomba utiliza el agua subterránea para extraer su energía calorífica.

La instalación, obviando si es abierto o cerrado, está dividida en tres, según la función de sus elementos: elementos de captación, elementos de distribución, elementos de intercambio de calor y la bomba calorífica.

1. Elementos de captación

La bomba calorífica está conectada a la Tierra a través de un sistema de captación, formado por una red de tuberías. El circuito de estas tuberías puede ser abierto o cerrado, pero por las cuales circula el fluido geotérmico, agua en el caso de un sistema abierto y un fluido anticongelante, en un sistema cerrado. Se pueden colocar de manera vertical u horizontal.

Los sistemas de captación pueden representar aproximadamente el 60% del coste total de una instalación y deben diseñarse adecuadamente. Para diseñar correctamente este sistema, se necesita conocer:

- Localización de la vivienda: Se debe conocer las condiciones climáticas de la localidad en la que se encuentra la vivienda. Se necesita conocer las condiciones de terreno. Dependiendo de esto último, la creación de perforaciones será más o menos costosa. Para calcular la conductividad y la capacidad calorífica de cada capa, también se debe tener información sobre la composición del subsuelo. La superficie del suelo también es importante, ya que se puede elegir entre realizar la captación horizontal o vertical.
- Superficie que se va a climatizar: Los valores para el área de la vivienda a calentar y enfriar deben estar disponibles. También es necesario conocer la temperatura alcanzada en el interior. De esta forma, podemos encontrar la potencia necesaria que debe producir una bomba de calor geotérmica para cubrir nuestros requerimientos energéticos.
- Sistema de distribución: Un sistema adecuado de distribución es la calefacción a través de suelo radiante. Este trabaja a temperaturas inferiores a otros sistemas como los radiadores.

2. Elementos de distribución

En el caso actual, el sistema debe ser capaz de utilizar la energía de un yacimiento de muy baja entalpía para calefactar las habitaciones de la vivienda y calentar el agua sanitaria. Hay varios sistemas en el mercado que calientan el aire en un espacio cerrado, ya sea soplando aire caliente o irradiando calor al aire a través de otros sistemas.

- Termoconvectores (*Fan coils*): estos sistemas utilizan tuberías de agua para calentar o enfriar el aire, distribuidas a diferentes habitaciones por unidades difusoras, y tienen una temperatura de operación de alrededor de 45°C. Estas unidades difusoras se pueden colocar a diferentes alturas en la habitación. Estos incluyen distintos tipos: de suelo, de pared, de techo, termoconvectores de casete y sistemas de conductos centralizados.

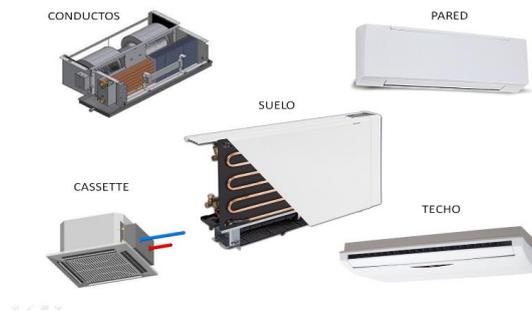


Ilustración 3: Tipos de Fan coils (Grupo Lasser, s.f.)

- Radiadores de agua de baja temperatura: Las bombas de calor geotérmicas pueden producir temperaturas máximas de alrededor de 50°C sin degradación de rendimiento, mientras que los radiadores convencionales funcionan a temperaturas entre 65°C y 70°C utilizando otra fuente de calor convencional. Afortunadamente, existen otros tipos de radiadores en el mercado con superficies de intercambio más grandes que son adecuados para funcionar a temperaturas tan bajas como 50°C.
- Suelo radiante: Es el intercambiador de calor más recomendado para sistemas de calefacción ya que es la forma más eficiente de transferencia de calor. Funciona a una temperatura de unos 40°C. Como su nombre indica, es el propio suelo el que irradia calor a la estancia a través de unos canales por los que circula el agua caliente. El sistema también se puede instalar en paredes verticales, pero su rendimiento se verá reducido. Por otro lado, utilizar este sistema para la

refrigeración de habitaciones es delicado e ineficiente. Si circula agua fría en los conductos, se puede formar condensación y causar problemas

3. Bomba de calor

El calor se transfiere de un foco caliente a uno frío hasta el equilibrio térmico.

Una bomba, en cambio, transfiere el calor al revés, de un punto frío a uno caliente. A la boba se le da una cantidad de energía a través de un motor mecánico, para que el foco caliente pueda absorber el calor y cumplir el segundo principio de la termodinámica.

Por ello, esto es la ventaja de utilizar una bomba de calor, pues esto le permite aprovechar la energía del ambiente para la climatización de viviendas.

También funcionar en modo de refrigeración, por tanto, funciona al revés, es decir, coge el calor del área aclimatada, el foco frío, y lo expulsa al ambiente, el foco caliente.

La bomba impulsa el fluido que circula por el sistema de captación, hacia el sistema de distribución, para así, transferir el calor a la vivienda.

Estas funcionan mejor que una bomba de calor de aire pues sufren menor variación de temperatura del subsuelo. Por otro lado, el agua es un medio más capaz de transferir y distribuir la energía calorífica.

CAPÍTULO IV: ELEMENTOS DE CAPTACIÓN

Como se ha mencionado, la bomba conectada a la Tierra, impulsa el fluido dentro de un sistema de conductos, por los que, a través de ellos, se realiza un intercambio de calor entre este y el ambiente en cada zona climatizada. La colocación de la red de tuberías en el terreno, donde se capta la energía calorífica del interior de la Tierra, puede ser vertical, horizontal o con pilotes geotérmicos.

- Vertical: se realizan perforaciones verticales al terreno con profundidades entre 70 metros y 200 metros. Por tanto, el intercambio de calor entre los conductos y el fluido geotérmico se hace de manera vertical. Estas perforaciones son más comunes en lugares donde no sea accesible una superficie horizontal, en lugares donde el clima es más desfavorable, para evitar variaciones significativas de temperatura en los primeros metros de la perforación. También se dan en los nuevos edificios que están en construcción, pues tienen más facilidad para realizar las perforaciones debajo de ellos. Esta disposición del sistema aumenta el gasto económico, pues la perforación vertical es más costosa, además de tener que reforzar las paredes del pozo con una argamasa para evitar daños en el sistema.



Ilustración 4: Intercambiadores verticales (Energías renovables, s.f.)

- Horizontal: la red de conductos se sitúa comúnmente a 2 metros de profundidad, por debajo de la estructura, abarcando una superficie de entre 2 a 3 veces de la superficie total de la vivienda, que se quiere calentar. El coste de estas perforaciones es menor comparado con las perforaciones verticales. Pero el rendimiento es menor, pues al encontrarse más cerca de la superficie, existe mayor variación de temperatura, mientras que, en el sistema vertical, la variación de temperatura es muy pequeña y constante. Otro punto en el que se diferencian es que no se pueden plantar árboles o construir sobre esta área, pues la instalación puede sufrir daños.



Ilustración 5: Intercambiadores horizontales (Akiter, s.f.)

Existen otra forma, pero se utilizan para edificaciones de grandes tamaños y sin utilizar una bomba de calor.

- Pilotes geotérmicos: se realizan cuando la cimentación se realiza con pantallas de hormigón, pues este tiene una gran conductividad térmica y gran capacidad para almacenamiento calorífico. Las sondas se colocan a la vez que las armaduras de hormigón. Estas suelen estar fabricadas de polietileno para facilitar la circulación del fluido anticongelante. La profundidad a la que llegan estos sistemas entorna entre los 10 y 40 metros bajo la superficie. La instalación de este sistema es poco costosa pues se realiza simultáneamente que los cimientos de la edificación. La desventaja que presenta es la imposibilidad de reparación o sustitución de los tubos, en caso de daños, por ello se sobredimensiona el número de estos.



Ilustración 6: Tubos colocados paralelamente a los pilotes (Tectónica, 2023)

CAPÍTULO V: ELEMENTOS DE INTERCAMBIO

El suelo radiante, como su nombre indica, no calienta el aire del ambiente, sino que emite el calor al suelo, a la pared y al techo, según como esté distribuido. Este sistema se coloca bajo del suelo de la vivienda, por el cual circula el fluido que permite el intercambio de calor.

Ya extraída la energía, se distribuye por la vivienda para calefacción o refrigeración. Por lo general, esto implica la instalación de una red de tuberías de polietileno a través de las cuales circula anticongelante o agua a temperaturas que oscilan entre 40°C y 12°C. Esta malla se cubre con una capa de cortero y luego una última capa: de yeso, de madera, de cerámica, de piedra...

Si el sistema trabaja como calefacción, el agua que circula por el sistema cede su energía calorífica al ambiente por medio de radiación, conducción y convección natural.

Si el sistema trabaja para refrigerar, seguirá el proceso inverso. El suelo absorbe el calor del ambiente y lo expulsa al exterior.

Estos sistemas se pueden controlar y regular según las necesidades. Se controla con un sistema de regulación que permite ajustar la temperatura del agua que circula por la red, permitiendo así, la regulación de la temperatura de cada habitación y baño de la vivienda.

Las principales ventajas del suelo radiante, entre otras, son:

- En cualquier estación, el confort es uno de los principales objetivos de este sistema. En invierno se busca un confort cálido, mientras que, en verano, se busca un confort refrescante
- La temperatura es regulable y homogénea en el sistema.
- Espacio útil.
- Ausencia de ruido.
- Emisiones de CO₂ casi nulas.
- El calor se transmite de abajo arriba hacia el ambiente, por tanto, no lo reseca. Además, al no ser húmedo, no favorecen la aspiración de bacteria y no se forman hongos ni moho.
- Gran ahorro energético y económico. Aunque la instalación tiene un coste elevado, gracias al ahorro que conlleva el consumo de energía a través de este sistema, entre un 25% y un 30%, se puede amortizar en no más de 10 años.
- No necesita mantenimiento, pues un sistema de larga vida útil.
- El sistema se encuentra debajo del suelo, por tanto, no tiene elementos visibles.
- La instalación de este sistema conlleva un tiempo reducido.

1. Materiales

Los materiales que se instalan con más frecuencia durante la construcción del suelo

- Film antivapor (PE): evita que la humedad del terreno pueda filtrarse a través del forjado.
- Zócalo perimetral: rodea todo el borde del espacio climatizado. No se pueden formar puentes térmicos con el forjado debido a la lámina de PE
- Plancha aislante: junto con la tubería, la planta es una de las partes más importantes de la instalación. Un buen aislante permite la reducción de la temperatura de impulsión. El material más común es el poliestireno expandido

(EXP). Las tuberías se mantienen en su posición gracias a esta losa, y además evita la transferencia del calor al forjado.

- Tubería: suelen estar compuestos por polietileno expandido. Permiten varias configuraciones al instalarse gracias a su flexibilidad. La forma de espiral es la más habitual, en la cual se mezcla agua fría y agua caliente.
- Juntas de dilatación y funda aislante: dado que la superficie del mortero es insuficiente para absorber todas las dilataciones, es necesario instalar juntas en las zonas del mortero que funciona a distintas temperaturas. También se utilizan si las superficies son asimétricas
- Colectores: para mantener la longitud de los circuitos al mínimo, normalmente se colocan lo más central posible dentro de la casa. Están formados por materiales de plástico.
- Armarios: elementos donde se alojan los colectores. Se sitúan en las zonas centradas, colocadas aproximadamente a 40 cm del suelo.
- Reguladores: Casa estancia deberá disponer de un termostato, tal y como lo exige el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE). Las válvulas de la zona ayudan a la independización de cada una de las plantas. Actualmente existen instalaciones que funcionan a baja temperatura y ofrecen a los propietarios un control total sobre la calefacción de la vivienda
- Mortero: es el elemento emisor del suelo radiante. Para evitar su deshidratación innecesariamente, no se aconseja acelerar su secado.

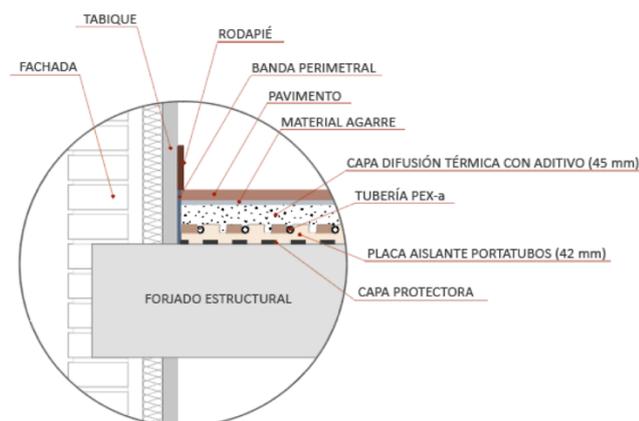


Ilustración 7: Materiales suelo radiante (Maxlor, s.f.)

2. Clasificación según disposición

Existen distintas formas de colocar la red de tuberías:

- Distribución en serpentín: las tuberías se desplazan hasta el otro extremo de la habitación mediante líneas paralelas. Dado que la temperatura desciende a medida que se desplaza por estancia, no es la opción más aconsejada.

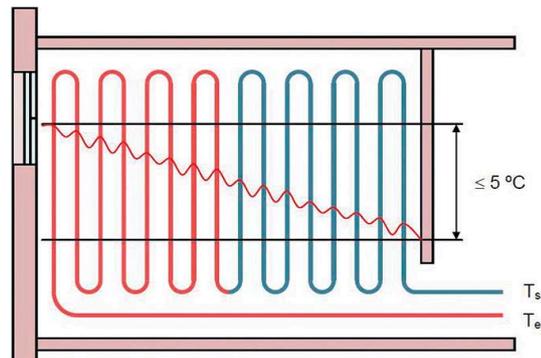


Ilustración 8: Suelo radiante con distribución en serpentín (Mundo HVAC&R, s.f.)

- Distribución en doble serpentín: a diferencia del anterior, introduce un tubo de impulsión y otro de retorno para evitar el inconveniente de ser un serpentín único.

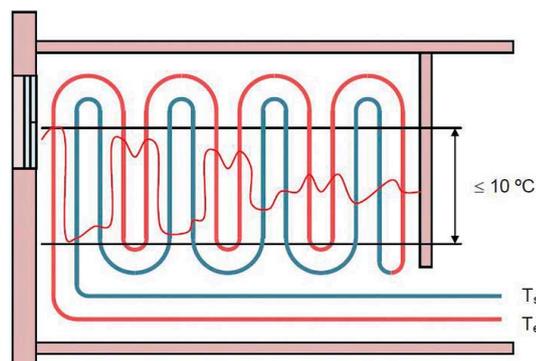


Ilustración 9: Suelo radiante con distribución en doble serpentín (Mundo HVAC&R, s.f.)

- Distribución en espiral: es la más utilizada debido a su regulación de temperatura en la estancia, ya que se intercalan los primeros tubos con los últimos de retorno. Se adapta con facilidad a cualquier forma geométrica, es versátil.

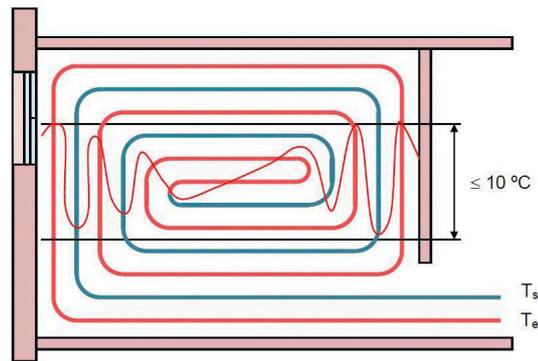


Ilustración 10: Suelo radiante con distribución en espiral (Mundo HVAC&R, s.f.)

CAPÍTULO VI: BOMBA DE CALOR

1. Tipos de bombas

1.1 Según el tipo de fuente de calor y el fluido de distribución local

Se distinguen en dos categorías: según el tipo de fuente de calor y según el fluido circulante.

Según el tipo de fuente de calor:

- Suelo: los colectores aprovechan el calor de la tierra.
- Agua: Ocurre cuando existe una fuente de agua. El agua entra en contacto con los colectores y transfieren la energía a la vivienda.

Según el tipo de fluido circulante:

- Aire: se usa cuando se climatiza con aire.
- Agua: se usa cuando se climatiza con suelo radiante.

1.2 Según la distribución de la captación

Según el tipo de sistema:

- Sistemas abierto: conectado a la fuentes del subsuelo.
- Sistemas cerrados: colectores forman un circuito cerrado.

Según la colocación del colector:

- Horizontal: se entierra el sistema aproximadamente a 2 metros del suelo. Se pueden poner en serie, paralelo o en espiral.
- Vertical: se entierra el sistema de manera vertical llegando a 150 metros de profundidad.

1.3 Según la ubicación del evaporador

La bomba de calor se coloca dentro del espacio, incluyendo el evaporador y el condensador. Si el colector funciona como evaporador, se conoce como máquinas de expansión directa.

1.4 Según la energía de compresión

Existen dos tipos:

- Compresión: se realiza en un compresor dentro del motor. Aparece en los motores de combustión y en los eléctricos.
- Absorción: Estas se accionan a través de la energía térmica aportada al ciclo, en vez de manera mecánica como la anterior.

2. Descripción de los componentes de la bomba de calor

Una bomba de calor está compuesta principalmente por: un evaporador, un compresor, un condensador y una válvula de expansión.

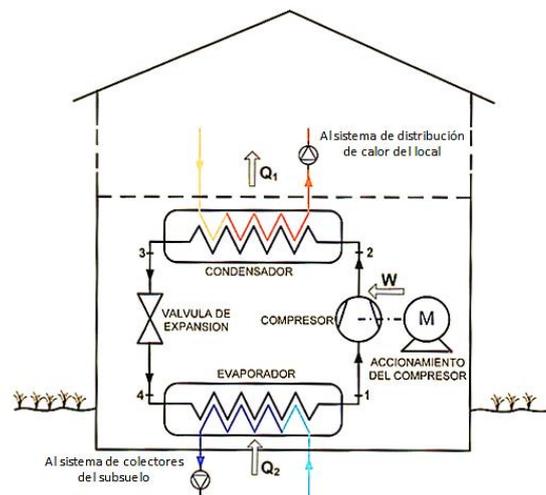


Ilustración 11: Componentes de una bomba de calor (IDAE, 2010)

En la Ilustración 11, aparece un circuito con una bomba que funciona como en modo de calefacción. El fluido circulante recorre el circuito cerrado, cambiando de estado según lo necesite al pasar por los diferentes componentes.

2.1 Compresor

Es un dispositivo accionado por un motor eléctrico, normalmente. En el punto 1 del ciclo de la Ilustración 11, el fluido es vapor saturado. Este provoca que el fluido aumente de presión y de temperatura, y pasa al punto 2.

2.2 Condensador

Un condensador intercambia calor, a presión constante, entre el fluido que lo aporta y el fluido que lo recibe y recorre el sistema de distribución. Primero, el fluido entra en forma de vapor saturado, cediendo calor al perder temperatura, luego a temperatura constante y, finalmente, el fluido se encuentra en el punto 3 en forma líquida sobrecalentada.

2.3 Válvula de expansión

Cuando el fluido atraviesa la válvula, sufre una expansión adiabática, reduciendo así su presión y su temperatura, llegando así al punto 4, donde el fluido se encuentra entre el vapor y el líquido.

2.4 Evaporador

Un evaporador es un intercambiador de calor de baja presión y temperatura, por el cual el fluido refrigerante recibe el calor aportado por el fluido circulante del sistema. De captación. Pasaría del punto 4 al punto 1, empezando de nuevo el ciclo.

2.5 Instrumentación y control

Se introducen en el sistema elementos de instrumentación y de control, para controlar el buen funcionamiento, como, por ejemplo, los termómetros y nanómetros.

2.6 Otros componentes

Otros componentes no mencionados son: calderín, silenciadores, filtro deshidratador, separadores de líquido y aceite, válvulas e intercambiadores de calor.

3. Fundamentos básicos de una bomba de calor

En modo de calefacción, el fluido caloportador absorbe el calor que es aprovechado del suelo a una temperatura T_2 . Posteriormente, la temperatura refrigerante se eleva a T_1 por medio del compresor, que se enciende mediante una entrada de energía. De esta forma se transfiere más calor al recinto del que se ha extraído del suelo.

El fluido refrigerante en modo de refrigeración hace exactamente lo contrario, absorbiendo el calor que se extrae del recinto a una temperatura del fluido caloportador se eleva T_1 mediante el compresor. De esta forma se extrae más calor del recinto y se transfiere más al suelo. Ambos modos de funcionamiento de una bomba de calor geotérmica se muestran en la ilustración 11.

De esta manera se cumple la Ecuación 1:

$$\dot{Q}_1 = \dot{W} + \dot{Q}_2 \quad \text{Ec. 1}$$

En la Ecuación 1, parece que se busca un trabajo máximo para su mejor funcionamiento, pero, se busca realmente que la eficiencia sea máxima con el menor trabajo posible, para así reducir los costes.

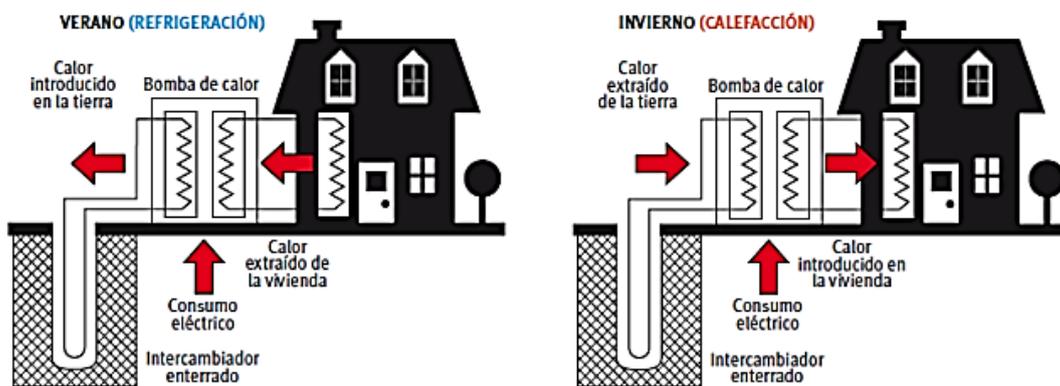


Ilustración 12: Esquema de funcionamiento de una bomba de calor geotérmica. (IDAE, s.f.)

La temperatura extraída T_2 debe de ser mayor que la temperatura del evaporador T_{r2} , y la temperatura del suministro T_1 debe de ser menor que la temperatura el condensador T_{r1} .

Se busca llegar a las presiones para los cambios de fase a las temperaturas T_{r2} y T_{r1} , en el evaporador y el condensador, siendo esto el funcionamiento del compresor y la válvula de expansión. Esto es para que el calor fluido pueda ser recolectado o utilizado debido a su camio de fase.

3.1 Parámetros de operación ideales

En este apartado se examina cómo funciona una máquina de ciclo ideal. En la Ilustración 13, se muestra un esquema de una máquina que sigue un ciclo de Carnot inverso y su diagrama T-s.

El ciclo de Carnot es un ciclo ideal donde no existen pérdidas y que los procesos son reversibles. Es el ciclo que utiliza una máquina para operar entre dos fuentes a máxima eficiencia: una fuente fría operando en T_2 y una fuente caliente operando en T_1

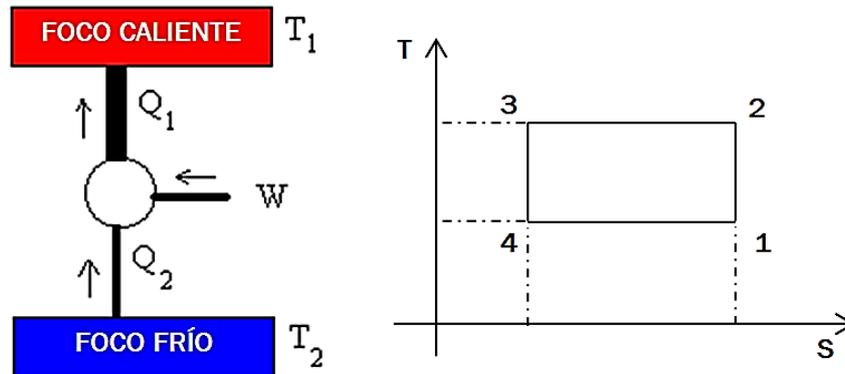


Ilustración 13: Máquina de refrigeración ideal de Carnot. (IDAE, s.f.)

En el diagrama T-s de la Ilustración 12, el calor es el área. Encerrada por la línea que conecta el punto 2 con el punto 3 y el eje s, y el calor es el área encerrada por la línea que conecta el punto 1 con el punto 4 y el eje s.

El rendimiento se calcula como el cociente entre lo obtenido y de lo que necesitamos para lograrlo.

El Coeficiente de Operación, abreviado COP por Coefficient Of Performance en inglés, es un parámetro que describe cómo funciona una bomba de calor cuando está operando en el modo de calefacción. La Ecuación 2 define este parámetro.

$$COP_{ideal} = \frac{\dot{Q}_1}{\dot{W}} = \frac{\dot{Q}_1}{\dot{Q}_1 - \dot{Q}_2} = \frac{T_1 * \Delta s}{T_1 * \Delta s - T_2 * \Delta s} = \frac{T_1}{T_1 - T_2} \quad Ec. 2$$

La ventaja es que el salto térmico es pequeño, lo que se puede deducir de la Ecuación 2. En la mayoría de los casos, el valor de COP es mucho más alto que 1. Normalmente se obtiene un COP de 3 a 4, con un máximo de 5 que significa que el compresor es responsable de sólo una quinta parte del calor proporcionado al recinto.

El Índice de Eficiencia Energética, también conocido como EER o Coeficiente de Eficiencia Energética, es un parámetro diferente que describe una bomba de calor cuando

está funcionando en modo de refrigeración. La Ecuación 3 arroja el valor de este parámetro.

$$EER_{ideal} = \frac{\dot{Q}_2}{\dot{W}} = \frac{\dot{Q}_2}{\dot{Q}_2 - \dot{Q}_1} = \frac{T_2 * \Delta s}{T_2 * \Delta s - T_1 * \Delta s} = \frac{T_2}{T_2 - T_1} \quad Ec. 3$$

El beneficio es que el salto térmico es pequeño, como se deduce de la Ecuación 3. Por lo general, el valor de EER también es mucho más alto que 1. Es típico lograr un EER de 2 a 3 puntos, con el potencial de llegar a 4 o más. Esto significaría que solo el 25% del calor absorbido por el recinto es causado por el trabajo del compresor.

Ambos parámetros se relacionan a partir de la Ecuación 3:

$$\frac{\dot{Q}_1}{\dot{W}} = \frac{\dot{Q}_2}{\dot{W}} + \frac{\dot{W}}{\dot{W}} \rightarrow COP_{ideal} = EER_{ideal} + 1 \quad Ec. 4$$

3.2 Parámetros de operación teóricos

Las bombas no pueden trabajar operar en ciclos ideales. Por ello, el diagrama de la Ilustración 13 es diferente al del apartado anterior. La campana del diagrama representa una limitación de las fases líquida, a la izquierda, y vapor, a la derecha, del fluido.

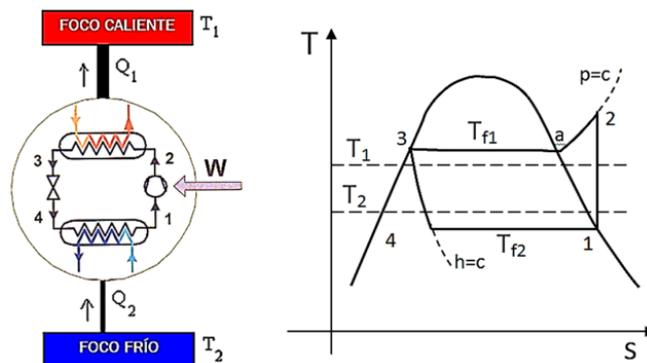


Ilustración 14: Bomba de calor y diagrama T – s teórico. (IDAE, s.f.)

Se puede observar que las temperaturas de la fuente caliente y la fuente fría no coinciden con las temperaturas del fluido refrigerante que fluye a través del evaporador y el condensador, T_{f2} y T_{f1}, respectivamente.

Por ello, los parámetros que se obtienen son distintos a los ideales:

$$COP_{teórico} = \frac{\dot{Q}_1}{\dot{W}} = \frac{\dot{Q}_1}{\dot{Q}_1 - \dot{Q}_2} \approx \frac{T_{f1} * \Delta s}{T_{f1} * \Delta s - T_{f2} * \Delta s} = \frac{T_{f1}}{T_{f1} - T_{f2}} \quad Ec. 5$$

$$EER_{teórico} = \frac{\dot{Q}_2}{\dot{W}} = \frac{\dot{Q}_2}{\dot{Q}_2 - \dot{Q}_1} \approx \frac{T_{f2} * \Delta s}{T_{f2} * \Delta s - T_{f1} * \Delta s} = \frac{T_{f2}}{T_{f2} - T_{f1}} \quad Ec. 6$$

En este caso, como se ve en la Ilustración 14, salto térmico es mayor que en el ideal y, por ello, los parámetros serán menores.

3.3 Parámetros de operación reales

Se muestra en la Ilustración 15, como en reales, las variaciones son aún mayores. El diagrama P-H de la izquierda es del caso ideal y el de la derecha, del real.

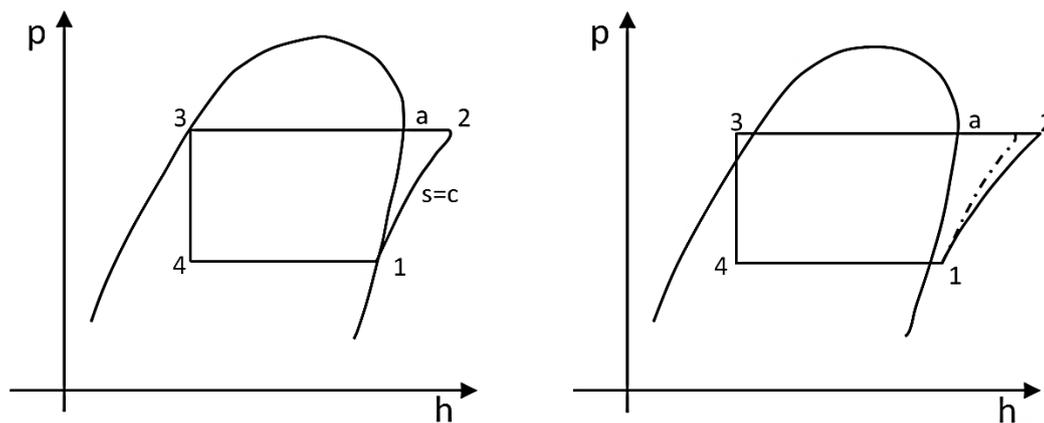


Ilustración 15: Diagrama p-h teórico y real de una bomba de calor (IDAE, 2010)

La razón por la cual el punto 1 se encuentra más a la derecha es para asegurar que el fluido que atraviesa el evaporizador está completamente en forma de vapor y no líquida al entrar en el compresor.

La razón por la cual el punto 2 también está desplazado es por las pérdidas al atravesar el compresor, por tanto, se inyecta más energía al compresor para contrarrestar.

La razón por la cual el punto 3 está desviado a la izquierda es porque el fluido, al salir del condensador, no puede tener burbujas de vapor que obstaculicen la entrada a la válvula.

Se obtienen unos parámetros de operación reales:

$$COP_{real} = \frac{\dot{Q}_1}{\dot{W}} \approx \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} = \alpha \cdot \frac{T_{f1}}{T_{f1} - T_{f2}} \quad Ec. 7$$

$$EER_{real} = \frac{\dot{Q}_2}{\dot{W}} \approx \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \alpha \cdot \frac{T_{f2}}{T_{f2} - T_{f1}} \quad Ec. 8$$

3.4 Parámetros de operación globales

En las ecuaciones anteriores se ha tomado el rendimiento como 100%, pero no es cierto. Por tanto, los parámetros de operación globales son:

$$COP_{global} = COP * \eta_{compresor} \quad Ec. 9$$

$$EER_{global} = EER * \eta_{compresor} \quad Ec. 10$$

3.5 Reversibilidad de una bomba

La bomba puede funcionar en modo refrigeración en verano y en modo calefacción en invierno.

En verano, en el intercambiador de fluido refrigerante, funciona como evaporador, mientras que el intercambiador de fluido circulante funciona como condensador. En invierno actúan ambos de la manera contraria.

Para conseguir esto, se introduce una válvula inversora, como se muestra en la Ilustración 16. El fluido siempre atraviesa el compresor en la misma dirección y sentido.

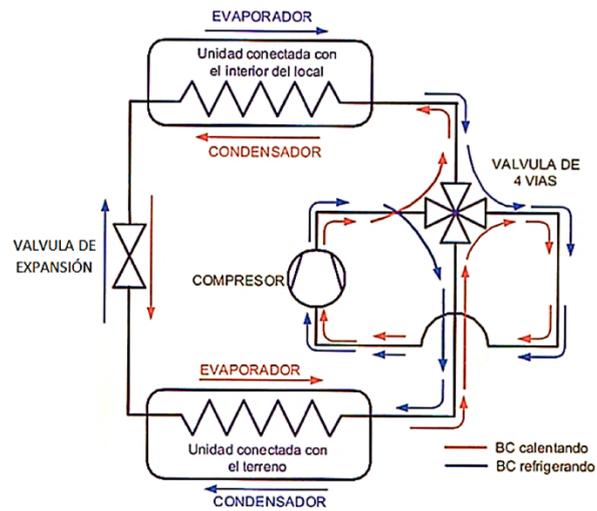


Ilustración 16: Reversibilidad de la bomba de calor por medio de una válvula de cuatro vías (IDAE, 2010)

La Ilustración 16, muestra la válvula inversora, al igual que los sentidos del fluido según el modo de trabajo.

BLOQUE III: RECOPIACIÓN DE DATOS

CAPÍTULO VII: DESCRIPCIÓN DE LA VIVIENDA

Se usará como referencia una vivienda unifamiliar de 400 m² aproximadamente de parcela. La casa posee 300 m² útiles y 272 m² son climatizados.

1. Distribución de la vivienda

La vivienda consta de tres plantas:

- Planta -1: Garaje, cuarto de juegos, bodega, cuarto de lavandería, distribuidor y 1 baño.
- Planta 0: cocina, comedor-salón, despacho, distribuidor, hall, 1 baño y terraza.
- Planta 1: 3 habitaciones, 3 baños, hall y distribuidor.

La siguiente tabla muestra las superficies aproximadas de cada espacio mencionado.

Planta	Espacio	Superficie (m ²)
-1	Garaje	30
	Cuarto de juegos	20
	Bodega	14
	Cuarto de lavandería	7
	Hall	17
	Baño	3
0	Cocina	14
	Comedor-Salón	30
	Despacho	20
	Cuarto	3
	Hall	17
	Baño	7
1	Habitación 1	13
	Habitación 2	14
	Habitación principal	30
	Baño 1	6
	Baño 2	6
	Baño principal	10
	Distribuidor	4
Hall	8	

Tabla 3: Distribución superficial de la vivienda

A continuación, se muestran en las siguientes figuras los planos de distribución de cada planta de la vivienda.

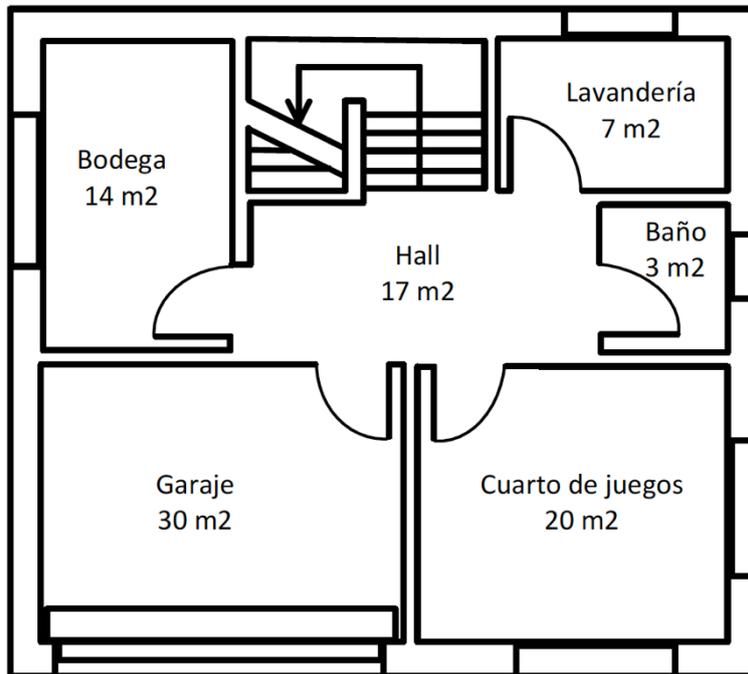


Figura 1: Plano de distribución de la Planta -1

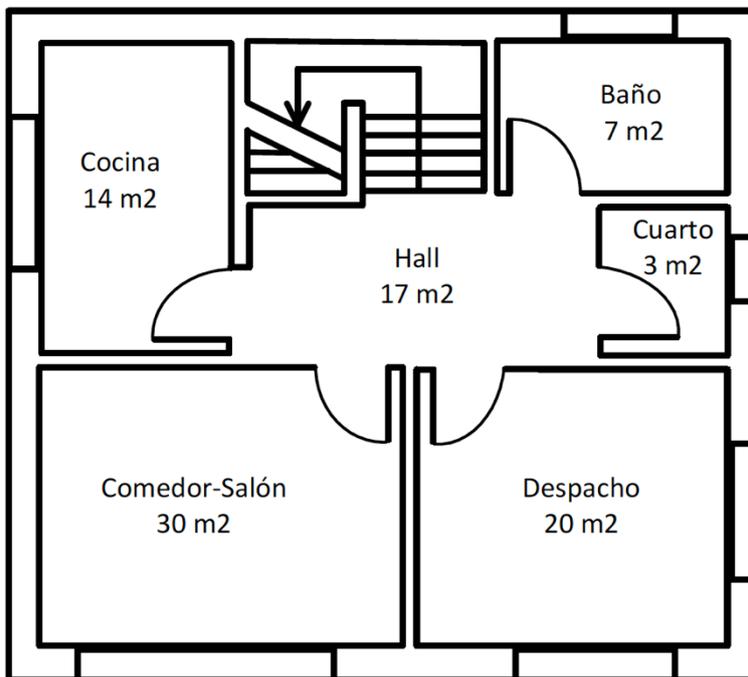


Figura 2: Plano de distribución de la Planta 0

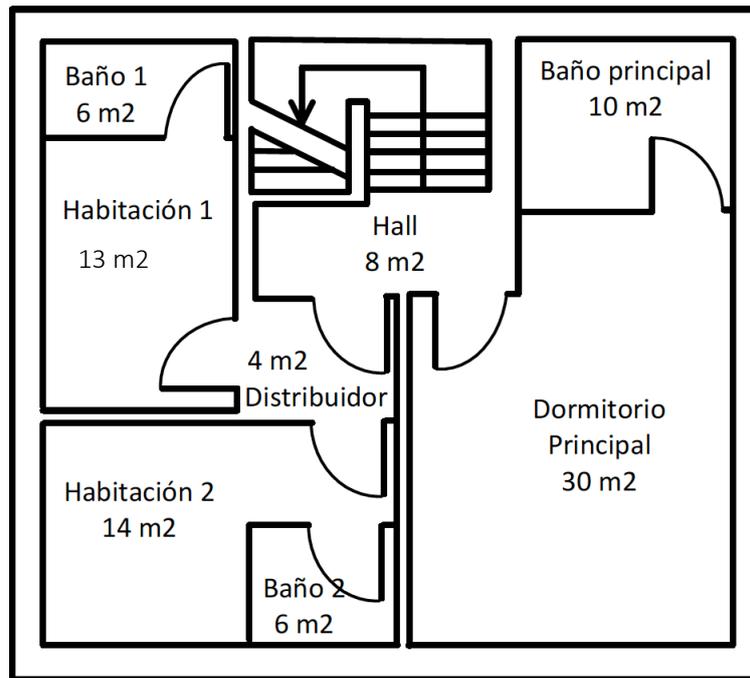


Figura 3: Plano de distribución de la Planta 1

2. Localización y orientación

La parcela se encuentra en Pozuelo de Alarcón, en la localidad de Madrid. La normal de la fachada anterior forma un ángulo respecto al Norte de 40° , por lo que la fachada principal tiene una orientación Sur.

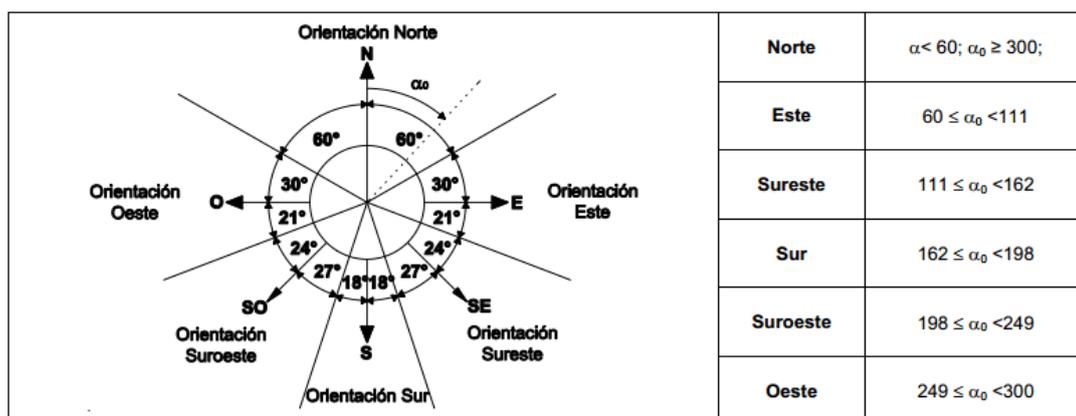


Ilustración 17: Orientación de fachadas (Fomento, 2013)

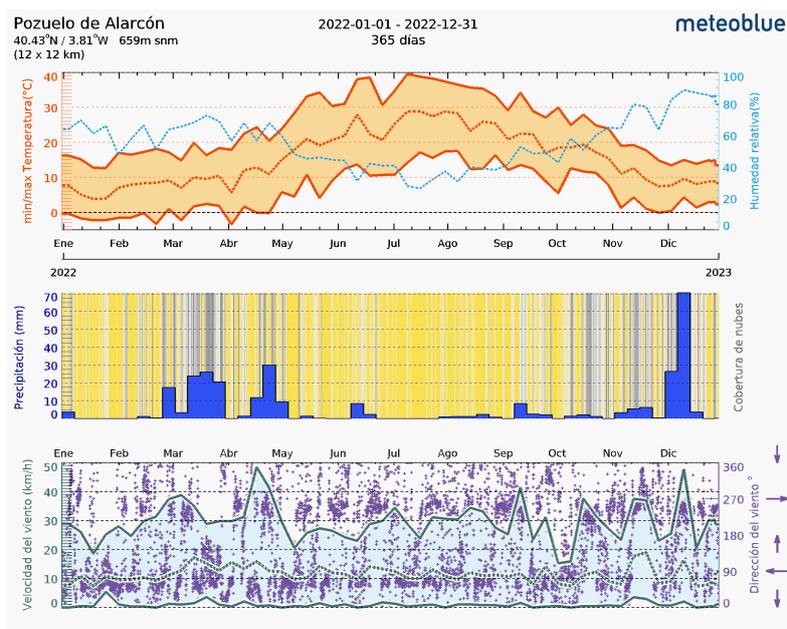
3. Condiciones climatológicas

En la Tabla 4 se muestra la media de los datos históricos climatológicos, en Pozuelo de Alarcón, correspondientes al intervalo de años del 1991 al 2021. La precipitación entre el mes más húmedo y el más seco, varía entorno unos 55 mm. La media de la temperatura anual es de 21.1°C.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temp. media (°C)	4.6	5.8	9	11.9	16.4	22.4	25.7	25.3	20.6	14.8	8.5	5.4
Temp. min. (°C)	0.8	1.2	3.6	6.2	10.2	15.5	18.6	18.4	14.7	10.1	4.6	1.7
Temp. max. (°C)	9.4	11.1	14.6	17.5	22.2	28.5	32	31.6	26.5	20	12.9	9.9
Precipitación (mm)	41	34	40	47	39	16	6	8	22	61	55	46
Humedad (%)	77	69	60	58	49	36	28	31	41	61	72	77
Días lluviosos (días)	5	4	4	6	5	3	1	2	3	5	5	5
Horas de sol (horas)	5.7	6.8	8.1	9.4	11.5	13.0	13.1	12.1	10.4	7.8	6.1	5.7

Tabla 4: Datos históricos del tiempo Pozuelo de Alarcón (1991-2021) (Climate Data, 2023)

Las condiciones climatológicas en el último año, 2022, son las siguientes.



Gráfica 1: Datos meteorológicos de Pozuelo de Alarcón en 2022 (Metoblue, 2023)

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

Provincia	Altitud sobre el nivel del mar (h)																						
	≤ 50 m	51 - 100 m	101 - 150 m	151 - 200 m	201 - 250 m	251 - 300 m	301 - 350 m	351 - 400 m	401 - 450 m	451 - 500 m	501 - 550 m	551 - 600 m	601 - 650 m	651 - 700 m	701 - 750 m	751 - 800 m	801 - 850 m	851 - 900 m	901 - 950 m	951 - 1000 m	1001 - 1050 m	1051 - 1250 m	1251 - 1300 m
Albacete	C3					D3										E1							
Alicante/Alacant	B4				C3												D3						
Almería	A4		B4		B3			C3						D3									
Araba/Álava	D1										E1												
Asturias	C1	D1								E1													
Ávila	D2					D1										E1							
Badajoz	C4				C3			D3															
Balears, Illes	B3			D2						D1			E1										
Barcelona	C2		D2					D1			E1												
Bizkaia	C1			D1										E1									
Burgos	D1					E1																	
Cáceres	C4				D3												E1						
Cádiz	A3		B3			C3			C2				D2										
Cantabria	C1	D1					E1																
Castellón/Castelló	B3		C3					D3			D2				E1								
Ceuta	B3										D3					E1							
Ciudad Real	C4				C3			D3															
Córdoba	B4		C4					D3															
Coruña, A	C1			D1						E1													
Cuenca	D3					D2				E1													
Gipuzkoa	D1					E1																	
Girona	C2		D2			E1																	
Granada	A4	B4			C4			C3				D3		E1									
Guadalajara	D3				D2										E1								
Huelva	A4	B4	B3		C3			D3															
Huesca	C3			D3			D2			E1													
Jaén	B4				C4			D3				E1											
León	E1										D3					E1							
Lleida	C3		D3			E1																	
Lugo	D1					E1																	
Madrid	C3					D3				D2		E1											
Málaga	A3	B3		C3										D3									
Melilla	A3										D3												
Murcia	B3		C3			A3				D3													
Navarra	C2	D2			D1			E1															
Ourense	C3			C2		D2			E1				E4										
Palencia	D1					E1										E4							
Palmas, Las	α3			A2			B2				C2												
Pontevedra	C1		D1					E1															
Rioja, La	C2		D2			E1																	
Salamanca	D2					E1																	
Santa Cruz de Tenerife	α3			A2			B2				C2												
Segovia	D2					E1																	
Sevilla	B4			C4			D1				E1												
Soria	D2					D1			E1														
Tarragona	B3		C3			D3				E1													
Teruel	C3				C2			D2				E1											
Toledo	C4					D2			D3				E1										
Valencia/València	B3	C3			D2				E1														
Valladolid	D2					E1																	
Zamora	D2					E1																	
Zaragoza	C3			D3			E1																

Tabla 5: Zonas climatológicas de la Península Ibérica. (Ministerio de transportes, 2022)

La vivienda se encuentra a 700 metros de altitud sobre el nivel del mar, en la provincia de Madrid, correspondiendo a la zona D3, recuadrada en la Tabla 5: Zonas climatológicas de la Península Ibérica. . Se trata de un clima común en el interior de la Península, Temperaturas muy bajas en inviernos y muy altas en verano, con escasez de precipitaciones, excluyendo en invierno, que suelen ser un poco más abundantes.

Una vez obtenidos estos valores, se busca una estación en Madrid con datos similares, en la Guía Técnica de Condiciones Climáticas Exteriores de Proyectos del IDAE. (IDAE, 2010).

Provincia			Estación			Indicativo	
Madrid			Cuatro Vientos (Aeródromo)			3196	
Ubicación: Aeropuerto			Nº de observaciones y periodo				
a.s.n.m. (m)	Lat.	Long.	T. seca	H. relativa	T. terreno	Rad	
687	40°22'40''	03°47'41''W	87600 (1987-2008)	18980 (1987-2007)			
Condiciones proyecto calefacción (temperatura seca exterior mínima)							
TSMin (°C)	TS_99,6 (°C)	TS_99 (°C)	OMdc (°C)	HUMcoin (%)	OMA (°C)	TSMin (°C)	
-7,6	-1,4	-0,1	11,3	77	37,5	-7,6	
Condiciones proyecto refrigeración (temperatura seca exterior máxima)							
TSMax (°C)	TS_0,4 (°C)	THc_0,4 (°C)	TS_1 (°C)	THc_1 (°C)	TS_2 (°C)	THc_2 (°C)	
40,6	36,1	20,5	34,8	19,8	33,3	19,6	
Condiciones proyecto refrigeración (temperatura húmeda exterior máxima)							
TH_0,4 (°C)	TSc_0,4 (°C)	TH_1 (°C)	TSc_1 (°C)	TH_2 (°C)	TSc_2 (°C)	TH_0,4 (°C)	
21,2	34,0	20,5	33,6	20,0	33,2	21,2	
Valores medios mensuales							
Mes	TA (oc)	TASOL (oc)	Gd_15(oc)	Gd_20	GdR_20	RAAdH (kWh/m2 día)	TTeRR(oc)
Enero	6,0	7,6	281	435	0	2,2	
Febrero	7,7	9,6	210	348	0	3,1	
Marzo	10,8	12,6	146	286	2	4,3	
Abril	12,7	14,5	104	227	7	5,4	
Mayo	17,2	19,1	41	127	40	6,3	
Junio	23,7	25,8	3	26	138	7,6	
Julio	25,9	27,9	1	11	194	7,6	
Agosto	25,5	27,4	0	11	181	6,7	
Septiembre	21,1	23,4	6	47	81	5,1	
Octubre	15,2	17,3	49	160	12	3,2	
Noviembre	9,2	11,0	178	324	0	2,2	
Diciembre	6,3	7,9	270	425	0	1,7	

Tabla 6: Datos climatológicos de la Estación de Cuatro Vientos, Madrid (IDAE, 2010)

Los datos que son necesarios para determinar las condiciones en las que actuará el sistema en cada modo, de calefacción o de refrigeración.

Si el sistema actúa como calefacción, se escoge la temperatura seca al 99.6%:

$$TS_{99.6} = - 1.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Si el sistema actúa como refrigeración, se escoge la temperatura seca al 0.4%:

$$TS_{0.4} = 36 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

4. Condiciones geológicas

Es de gran importancia conocer las condiciones geológicas del terreno donde se va a realizar el proyecto de la instalación geotérmica. Existen factores como son la conductividad y la capacidad térmica de sustratos, que afecta directamente al sistema de captación, pues estos parámetros varían según la profundidad.

El suelo del terreno es principalmente arcilla arena y grava, en menos cantidad.

Sustrato	Conductividad térmica (W/mK)	Capacidad térmica (MJ/m ³ K)
Arcilla/limo	1.7	2
Arena	2.4	2.3
Grava	1.8	2.4

Tabla 7: Conductividad y capacidad térmica del tipo de sustrato (Paud, 2002)

Se obtienen los valores promediados del terreno, incrementándolos un 10%, para aumentar la seguridad de la elección. Los datos se presentan en la siguiente tabla.

Conductividad térmica (W/mK)	2.49
Capacidad térmica (MJ/m³K)	2.48

Tabla 8: Conductividad y capacidad térmica promediados

CAPÍTULO VIII: CARGAS TÉRMICAS

Para obtener energía para uso doméstico, hay que elegir cargas térmicas, en base a las cuales se diseña la bomba de calor, y se necesitan sistemas de distribución para cubrirlos. Se requiere la siguiente información para calcular las cargas térmicas:

- Superficies que aclimatar
- Orientación de la vivienda
- Condiciones exteriores de la vivienda
- Condiciones interiores de la vivienda
- Envolvente térmica (cerramientos exteriores y tabiques internos)
- Número de residentes

Los dos primeros puntos se han comentado en el capítulo anterior.

1. Condiciones exteriores de la vivienda

Las condiciones en el exterior que se utilizarán para los cálculos serán:

Estación	Temperatura seca (°C)	Humedad relativa (%)
Invierno	-1.4 °C	77%
Verano	36°C	30%

Tabla 9: Condiciones exteriores de diseño

2. Condiciones interiores de la vivienda

Las condiciones en el interior que se utilizarán para los cálculos deben obtenerse del Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios, RITE. En este se especifican las condiciones óptimas interiores de temperatura y humedad relativa, teniendo en cuenta el metabolismo de la persona, su vestimenta y un porcentaje estimado de insatisfechos (PPD).

Para una persona con una actividad metabólica sedentaria 1.2 met, con un grado de vestimenta 0.5 clo en verano y 1 clo en invierno, y un PPD menor al 10%, los. Valores

de temperatura operativa y humedad relativa son las siguientes. (Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, 2007)

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

Tabla 10: Condiciones interiores de diseño

3. Envoltente térmica

Consiste en un recubrimiento alrededor de la vivienda que limita esta con el ambiente. Su principal objetivo es aislar la vivienda por medio de la convección, conducción y radiación.

Con cerramientos se aísla las zonas habitables la vivienda con el exterior y con tabiques interiores, las zonas habitables de las que no lo son y del exterior.

3.1 Cerramientos

Muros

Aíslan las zonas habitables del exterior. Consiste, según el programa CE3Xv2.3, en una fachada con capas de diferentes materiales y espesores.

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

Tabla 11: Composición muros exteriores (Efinovatic & CENER)

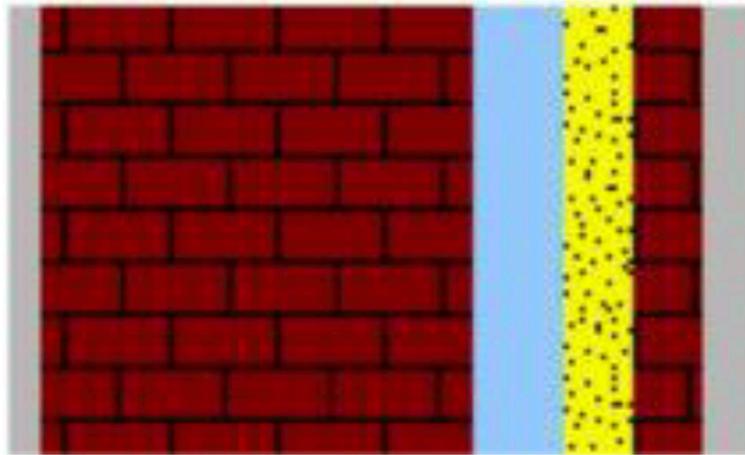


Figura 4: Composición muros exteriores (Efinovatic & CENER)

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

$$U_F = \frac{1}{\frac{1}{h_{int}} + \sum_1^j \frac{e_j}{k_j} + \frac{1}{h_{ext}}} \quad \text{Ec. 11}$$

Según el DB-HE 1, $R_{si} = 0.13$ y $R_{se} = 0.04$. Al sustituir en la $U_F = \frac{1}{\frac{1}{h_{int}} + \sum_1^j \frac{e_j}{k_j} + \frac{1}{h_{ext}}}$

Ec. 11 se obtiene una transmitancia igual a:

$$U_m = \frac{1}{\frac{1}{h_{int}} + \sum_1^j \frac{e_j}{k_j} + \frac{1}{h_{ext}}} = \frac{1}{0.13 + 1.887 + 0.04} = 0.49 \frac{W}{m^2 * K}$$

Ventanas

Las ventanas son de PVC blanco. Son abatibles, tienen una gran resistencia al viento, y constan de aislamiento acústico y térmico, debido a un acristalamiento doble.

$$U_H = (1 - F_M) * U_{H,V} + F_M * U_{H,m} \quad \text{Ec. 12}$$

Donde,

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

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

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

F_M : porción de hueco ocupado por el marco

Suponiendo que la fracción del hueco ocupada por el marco es de 40,2%.

Sustituyendo en la $U_H = (1 - F_M) * U_{H,V} + F_M * U_{H,m}$

Ec. 12:

$$U_H = (1 - F_M) * U_{H,V} + F_M * U_{H,m} = (1 - 0.402) * 2.4 + 0.402 * 1.6 = 2.078 \frac{W}{m^2K}$$

Puertas

Hay dos tipos de puertas:

- De PVC blanco de vidrio con doble acristalamiento. Tiene la misma transmitancia que las ventanas.
- Metálica con aislamiento. Tiene. Una transmitancia de 1.5 W/m²K.

Suponiendo que la fracción del hueco ocupada por el marco, para las puertas, es de 37.2%.

Sustituyendo en la $U_H = (1 - F_M) * U_{H,V} + F_M * U_{H,m}$

Ec. 12:

$$U_H = (1 - F_M) * U_{H,V} + F_M * U_{H,m} = (1 - 0.372) * 2.4 + 0.372 * 1.6 = 2.15 \frac{W}{m^2K}$$

Cubierta

Separa las zonas habitables del exterior con un cerramiento horizontal.

En la siguiente tabla se presenta la composición de la cubierta, según el programa CE3Xv2.3:

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

Tabla 12: Composición muros exteriores (Efinovatic & CENER)

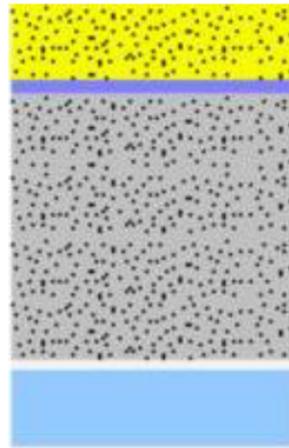


Figura 5: Composición y espesores de la cubierta (Efinovatic & CENER)

Según el DB-HE 1, $R_{si} = 0.1$ y $R_{se} = 0.04$. Al sustituir en la $U_F = \frac{1}{\frac{1}{h_{int}} + \sum_1^j \frac{e_j}{k_j} + \frac{1}{h_{ext}}}$

Ec. 11 se obtiene una transmitancia igual a:

$$U_{cubierta} = \frac{1}{\frac{1}{h_{int}} + \sum_1^j \frac{e_j}{k_j} + \frac{1}{h_{ext}}} = \frac{1}{0.1 + 2.645 + 0.04} = 0.359 \frac{W}{m^2 * K}$$

Suelo

Separa los espacios habitables del terreno.

En la siguiente tabla se presenta la composición del suelo, según el programa CE3Xv2.3:

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

Según el DB-HE 1, $R_{si} = 0.17$ y $R_{se} = 0$. Al sustituir en la $U_F = \frac{1}{\frac{1}{h_{int}} + \sum_1^j \frac{e_j}{k_j} + \frac{1}{h_{ext}}}$

Ec. 11 se obtiene una transmitancia igual a:

$$U_{cubierta} = \frac{1}{\frac{1}{h_{int}} + \sum_1^j \frac{e_j}{k_j} + \frac{1}{h_{ext}}} = \frac{1}{0.17 + 2.645 + 0} = 0.355 \frac{W}{m^2 * K}$$

4. Cálculo de cargas térmicas

4.1 Cargas térmicas de calefacción

De transmisión

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

$$Q_{tran} = U_m * S * (T_{int} - T_{ext}) \quad Ec. 13$$

Donde:

Q_{tran} : calor de transmisión (W)

U_m : coeficiente de transmisión (W/m²K)

S : superficie de transmisión (m²)

T_{int} : temperatura interior (K)

T_{ext} : temperatura. Exterior (K)

Ventilación

Se calcula principalmente por la salubridad, además de por la renovación del aire, que depende del local y de las actividades que se realizan en él. Se calcula con la siguiente ecuación.

$$Q_v = V_a * \rho_a * Cp_a * (T_{int} - T_{ext}) \quad Ec. 14$$

Donde:

Q_v : carga el ventilador (W)

V_a : caudal de aire (m³/s)

ρ_a : densidad del aire (kg/m³)

Cp_a : calor específico del aire (J/kgK)

T_{int} : temp. interior (K)

T_{ext} : : temp. exterior (K)

Las cargas internas, actividad de los habitantes y la radiación, aportan una serie de cargas, pero que no se tendrán en cuenta a la hora de los cálculos, pues estos se realizan para los casos más críticos o desfavorables.

4.2 Cargas térmicas de refrigeración

Transmisión

Se calcula de la misma manera que las cargas térmicas de calefacción, exceptuando los valores de las temperaturas, pues estos son distintos.

Radiación

Esta carga aparece por la radiación solar que atraviesa las ventanas. Al atravesar estas, se encuentra con diferentes obstáculos como son las personas, cortinas o persianas. También hay que tener en cuenta cualquier edificación que produzca sombras.

Se calcula con la siguiente ecuación.

$$Q_{rad} = \sum_o I_o * S_o * f_c \quad \text{Ec. 15}$$

Donde:

o : orientación (Norte, Sur, Este, Oeste)

Q_{rad} : carga de radiación (W)

I_o : irradiancia solar en la orientación o (W/m²)

S_o : superficie de la ventana en la orientación o (m²)

f_c : factor corrección

Ventilación

Se calcula de la misma manera que las cargas térmicas de calefacción, exceptuando los valores de las temperaturas, pues estos son distintos, y, añadimos una carga latente.

Se calcula con la siguiente ecuación.

$$Q_v = V_a * \rho_a * h_{fg} * (w_{int} - w_{ext}) \quad \text{Ec. 16}$$

Donde:

Q_v : carga el ventilador (W)

V_a : caudal de aire (m³/s)

ρ_a : densidad del aire (kg/m³)

h_{fg} : entalpía de cambio de fase (J/kg)

w_{int} : humedad del interior

w_{ext} : humedad del exterior

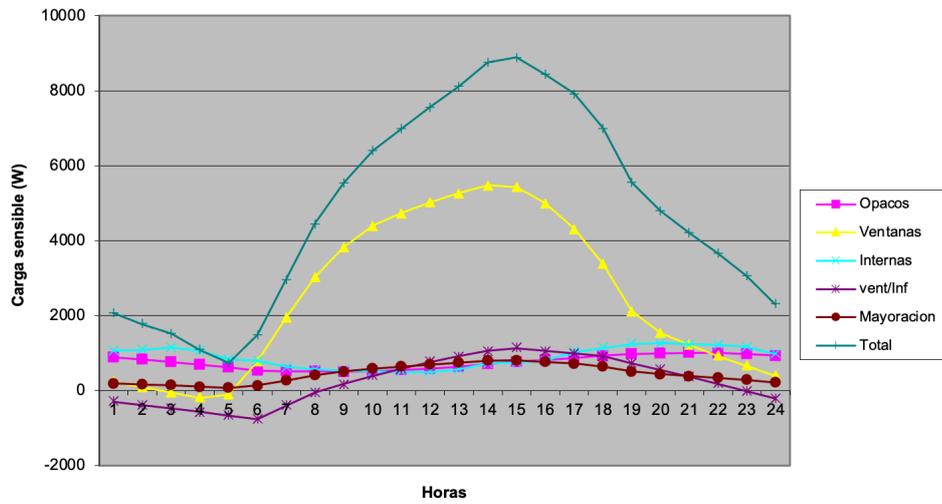
4.3 Módulo de las cargas térmicas

Una vez conocidas las cargas se procede a calcularlas utilizando una hoja Excel proporcionada por ATECYR, añadida en el ANEXO II: CARGAS TÉRMICAS.

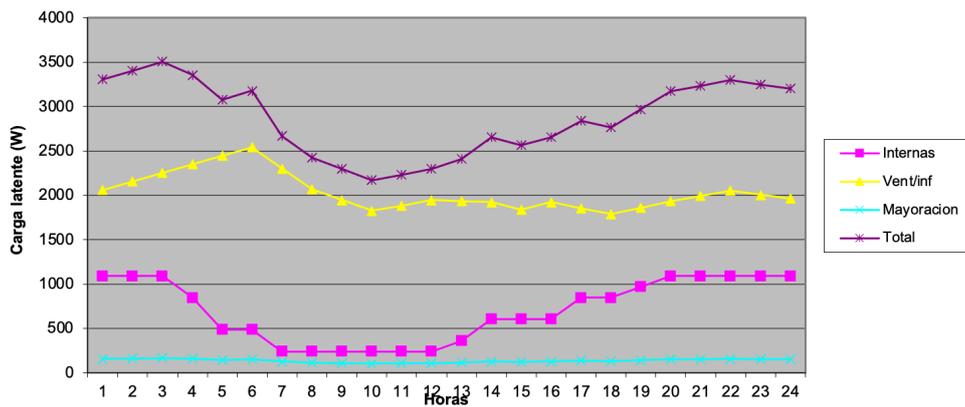
Refrigeración

De ella, se obtiene que como resultado de carga total a la hora de cálculo es 11451W, siendo ese valor, el valor máximo en la hora 15.

En las siguientes gráficas podemos ver representas las cargas sensibles y latentes en cada hora el día, debidas a las diferentes superficies.



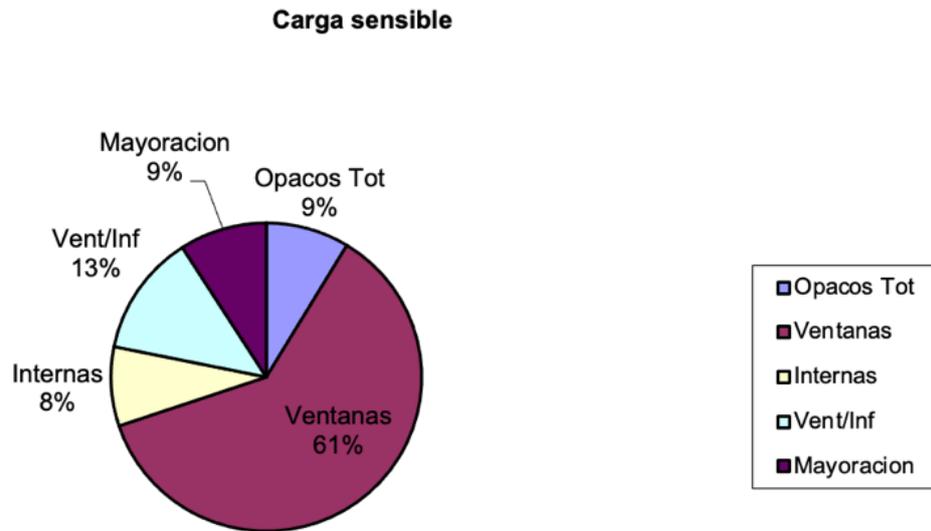
Gráfica 2: Cargas sensibles según la hora en refrigeración



Gráfica 3: Cargas latentes según la hora en refrigeración

Hora cálculo: 15			
	Sensible (W)		Latente (W)
Opacos Tot	771		
Ventanas	5437		
Internas	738	Internas	605
Vent/Inf	1132	Vent/Inf	1838
Mayoración	808		122
Total	8886		2565

Tabla 13: Total de cargas sensibles y latentes en refrigeración

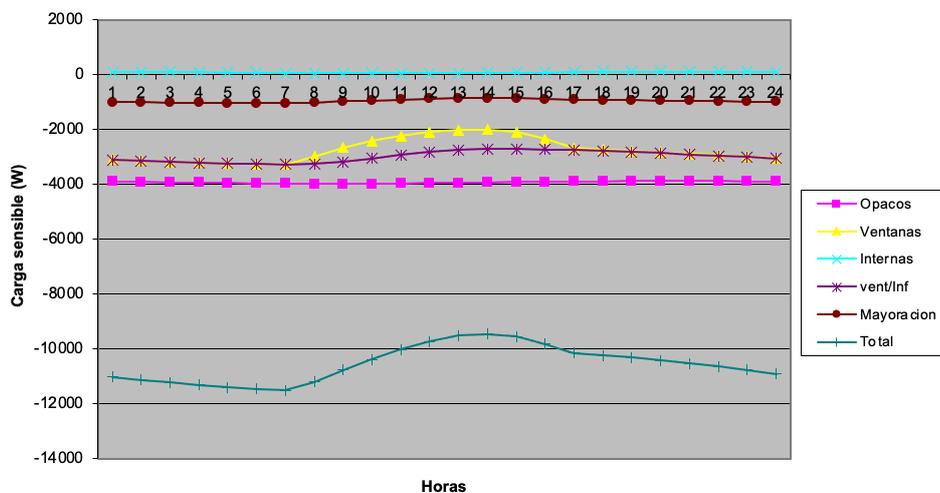


Gráfica 4: Cargas sensibles según tipo de superficie en refrigeración

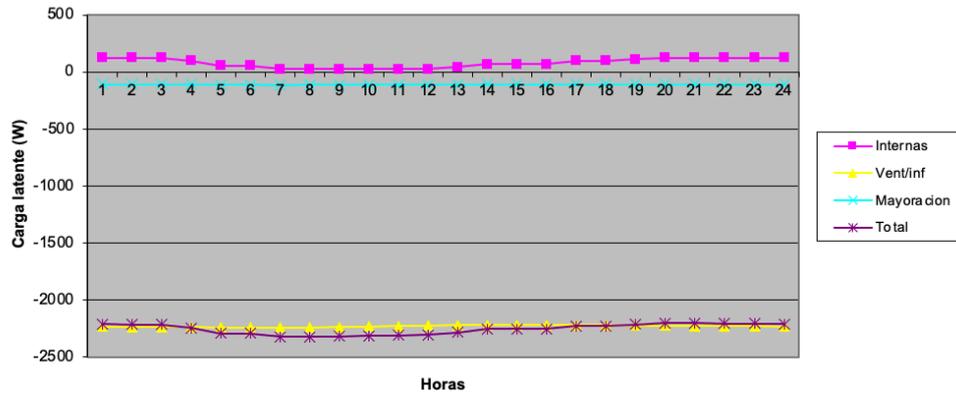
Calefacción

De ella, se obtiene que como resultado de carga total a la hora de cálculo es -13072W y el valor máximo en la hora 9 es -13827W.

En las siguientes gráficas podemos ver representas las cargas sensibles y latentes en cada hora el día, debidas a las diferentes superficies.



Gráfica 5: Cargas sensibles según la hora en calefacción

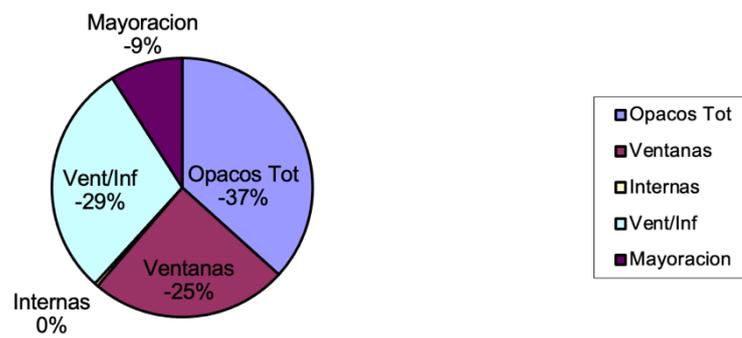


Gráfica 6: Cargas sensibles según la hora en calefacción

Hora cálculo: 9			
	Sensible (W)		Latente (W)
Opacos Tot	-3984		
Ventanas	-2661		
Internas	47	Internas	28
Vent/Inf	-3178	Vent/Inf	-2236
Mayoracion	-978		-110
Total	-10753		-2318

Tabla 14: Total de cargas sensibles y latentes en calefacción

Carga sensible



Gráfica 7: Cargas sensibles según tipo de superficie en calefacción

BLOQUE IV: SELECCIÓN DE EQUIPOS

CAPÍTULO IX: SISTEMA DE CAPTACIÓN

1. Temperatura del terreno

El calor interno de la Tierra llega a un equilibrio térmico entre su propia temperatura interna y la aportada por la radiación solar. Este se mantiene constante y entorno a la media anual.

En los primeros 10 metros, la temperatura varía según la profundidad y el momento del año, además de por las propiedades del terreno. A partir de los 20 metros, se considera que la temperatura aumenta con un gradiente de 3.3 °C cada 100 metros.

Se utiliza el modelo de estimación de Steve Kavanaugh y Kevin Rafferty (Kavanaugh & Rafferty, 1997). Hasta los 20 metros se utiliza la siguiente ecuación:

$$T(z, t) = T_a - A_0 * e^{-z * \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}} * \cos\left(\frac{2\pi}{365} * (t - t_0) - z * \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}\right) \quad \text{Ec. 17}$$

Donde:

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

z : profundidad (m)

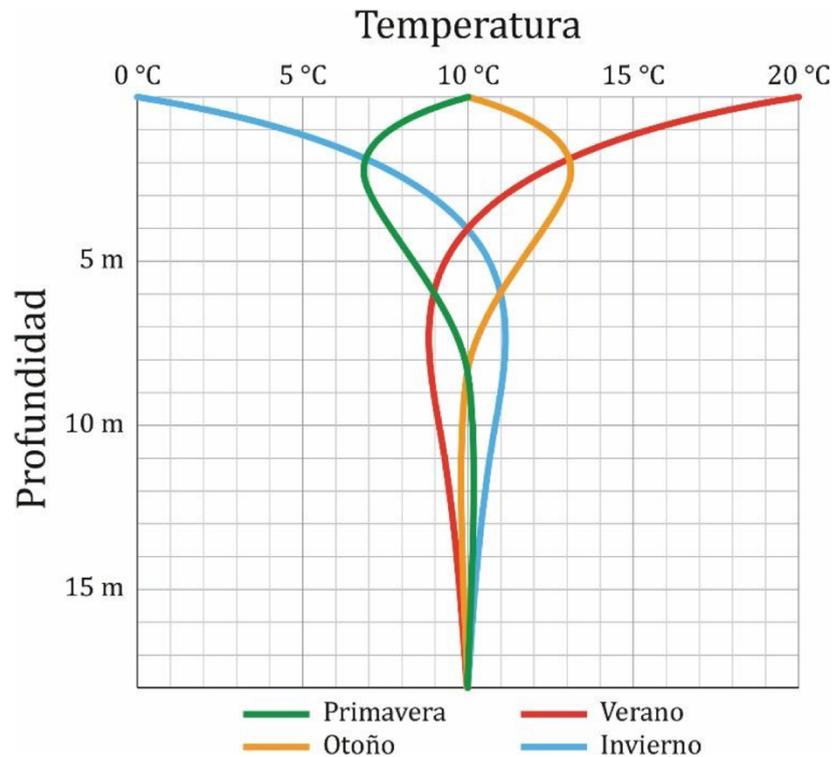
t : número de días desde el día referencia (días) [suele ser 35 ± 10 según el análisis de Kusuda]

t_0 : constante de fase (días)

T_a : temp. media anual del terreno (°C)

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

α : difusividad térmica del terreno ($m^2/día$) [$0.4 \frac{m^2}{día}$ para suelo seco; $1.08 * 10^{-6} \frac{m^2}{día}$ para suelo húmedo]



Gráfica 8: Evolución de la temperatura con la profundidad (Thermodynamics, s.f.)

2. Configuración intercambiador enterrado

Se escoge una de las configuraciones descritas en el BLOQUE II: INSTALACIÓN GEOTÉRMICA, CAPÍTULO IV: ELEMENTOS DE CAPTACIÓN, según las necesidades del proyecto. Se utiliza el método alemán, VDI 4640 parte 2, para el dimensionamiento. En este caso, se escoge una configuración vertical con tubos en doble U con cuatro vías. Esta es la comúnmente utilizada en España y la aconsejada por Fernando Amador, arquitecto del estudio Amador-Page Arquitectos, en Valdemoro, al que se ha pedido consejo sobre esta materia.

No se escoge una configuración horizontal, aunque la superficie de la parcela es suficiente para ello, porque con la radiación solar, en Pozuelo de Alarcón, los cambios de temperatura oscilan dentro de un rango grande, que cambia a lo largo del año.

Esta opción sería la más ventajosa, pues como se ha mencionado anteriormente, la temperatura tiende a ser constante a partir de los 20 metros.

Las sondas geotérmicas se componen de los tubos verticales de polietileno de alta densidad PE-100, con una resistencia nominal a presión de 16 bar, y un pie de sonda, una pieza en U de PE-100, con una resistencia a presión igual que los tubos. Estas dos piezas se sueldan en fábrica para garantizar su funcionamiento correcto. Las sondas se compran en rollos de 4 tubos con 32 ó 40 mm de diámetro. (Ferroterm, s.f.)



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

Ilustración 18: Sondas geotérmicas dobles (Ferroterm, s.f.)

La resistencia de los tubos de un intercambiador se calcula de la siguiente manera:

$$R_p = \frac{1}{2\pi * K_p} * \log_N \left(\frac{D_0}{D_1} \right) \tag{Ec. 18}$$

Donde:

R_p : resistencia térmica (Km/W)

K_p : conductividad térmica del tubo (FERROTERM: 0.43 W/Km)

D_{ext} : diámetro exterior del tubo (m)

D_{int} : diámetro interior (m)

Para un sistema de captación de menos de 30 kW, y una longitud de sonda menos de 100m, se pueden considerar los valores de extracción de calor de la norma alemana. Los pozos de sondas verticales deben estar separados entre sí 6 m, mientras que la distancia entre pozos y la edificaciones tiene que ser un mínimo de 3 m.

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

Tabla 15: Extracción vertical térmica de calor (Ferroterm, s.f.)

La longitud del intercambiador vertical se calcula de la siguiente manera:

$$L_c = \frac{Q_c \cdot \frac{COP_c - 1}{COP_c} \cdot (R_p + R_t \cdot F_c)}{T_{min,t} - T_{min}} \tag{Ec. 19}$$

$$L_r = \frac{Q_r \cdot \frac{COP_r + 1}{COP_r} \cdot (R_p + R_t \cdot F_r)}{T_{max} - T_{max,t}} \tag{Ec. 20}$$

Donde:

c : calefacción.

r : refrigeración.

t : terreno.

L : longitud necesaria del intercambiador para el funcionamiento en modo calefacción y refrigeración (m).

R_t : resistencia del terreno (Km/W).

F : factor de utilización. La fracción de tiempo en la que la bomba está en funcionamiento.

T : temperatura.

Q : calor. $Q_c = 1000 * P_c$, $Q_r = 1000 * P_r$; donde la P es la potencia de la bomba (kW).

Es lo mismo que decir:

$$\text{Potencia térmica del terreno} = \text{pot. total} - \text{pot. del compresor} \quad \text{Ec. 21}$$

$$\text{Long. sonda} = \frac{PTT (W)}{\text{extracción térmica por m}} \quad \text{Ec. 22}$$

En esta instalación, la longitud de sonda es de:

$$PTT = 13.83 - \frac{13.83}{4} \cong 10.37 \text{ kW}$$

$$\text{Long. sonda} = \frac{103725}{60} = 172.87 \text{ m}$$

3. Diámetro de los conductos

Escogida la configuración, se dimensionan los conductos, se escoge el diámetro óptimo y el material adecuado. Para la elección del diámetro se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Las pérdidas de carga y la potencia de bombeo sean pequeñas, por tanto, debe ser lo suficientemente grande para ello.
- Régimen debe ser turbulento para el eficiente intercambio, por tanto, debe ser lo suficientemente pequeño para que las velocidades sean altas.

Para que sea turbulento el número de Reynolds debe ser mayor de 2300:

$$Re = \frac{4 * Q}{\pi * \theta * D} > 2300 \quad \text{Ec. 23}$$

Donde:

Q : caudal que circula por los conductos (m^3/s)

D : diámetro de los conductos (m)

θ : viscosidad cinemática (m^2/s) $\rightarrow \theta = \frac{\mu}{\rho}$ (consultar

μ : viscosidad dinámica (kg/ms)

ρ : densidad (kg/m^3)

Considerando un caudal de la bomba de 0.04 l/s por kW de potencia, el caudal estimado en el intercambiador es aproximadamente 0.05 l/s por kW.

Para escoger un tubo se utilizan diferentes catálogos, en este caso, se opta por utilizar los catálogos de FerroSystems. Se realizarán 2 pozos de 100 m de profundidad para dos sondas FERRO TERM PE-100, de doble U, con una longitud de sonda igual a 172.87 m, con diámetro 32 mm y espesor de 3 mm.

4. Perforación

Las empresas especializadas serán las que realicen las perforaciones, pues estas tienen los recursos tecnológicos para hacerlas. El diámetro del pozo principal suele rondar entre 110 y 165 mm. Como se ha mencionado antes, los pozos deben estar a 3 m de las infraestructuras y a 6 m entre ellos.

La inserción de la sonda vertical en el pozo generalmente se realiza utilizando un elemento enrollado y con lastre suficiente, colocado en forma de U. Ya insertada la sonda, se realizan pruebas de presión y de circulación del fluido geotérmico por el circuito, antes de llegar al orificio.

Al mismo tiempo que se introduce la sonda, se introduce un tubo de inyección, que rellenará con mortero con alta conductividad en el espacio del pozo no ocupado por la sonda. De nuevo, se realizarán las mismas pruebas, para comprobar el buen funcionamiento. Durante las pruebas, se ponen tapones en los extremos de los conductos para evitar que el fluido geotérmico escape.

Se requiere excavación para instalar los ramales de conexión de salida y retorno al intercambiador de calor vertical y los ramales de conexión al colector. Se elimina las capas de vegetación y se abren y limpian zanjas para eliminar la roca existente y así, evitar daños a la tubería. Esta, se instala sobre un lecho de arena y se rellena con arena hasta cubrir completamente la tubería.

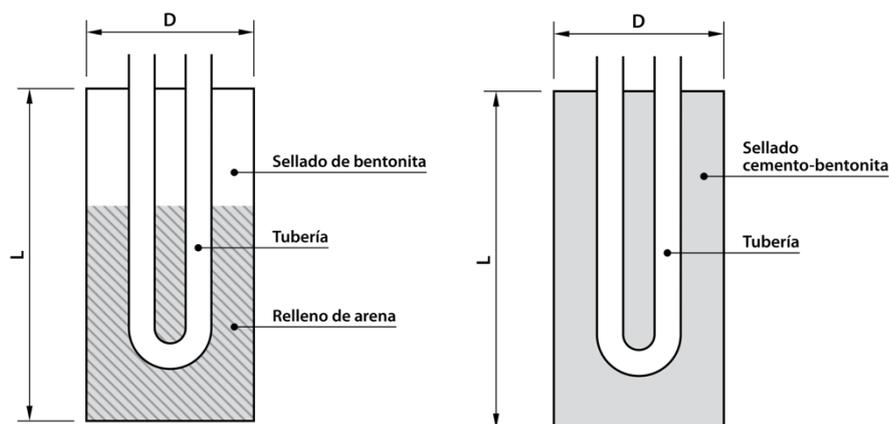


Ilustración 19: Instalación de intercambiadores verticales (IDAE, 2010)

5. Pruebas de presión

Las primeras pruebas que se realizan son antes del relleno. Estas son unas pruebas de purgado. Para ello, se utiliza agua a una velocidad de alrededor de 0.6 m/s a 16 bares.

Por norma, se establece el caudal en la sonda según el diámetro que se utilice, como se muestra en la siguiente tabla.

Diámetro (mm)	Caudal, Q (m ³ /h)
25	0.7
32	1.2
40	1.8

Tabla 16: Caudales de purgado (IDAE, 2010)

Por tanto, al ser la tubería de 32 mm de diámetro, el caudal de purgado necesario será de 1.2 m³/h.

Después del purgado, se realiza una prueba de estanqueidad y otra de resistencia en cada sonda. Para ello, se realizan estas con las siguientes condiciones:

- La presión debe ser 3 veces la de funcionamiento, pero no puede superar el 80% de la presión nominal de la tubería.
- Durará 1 hora.
- Solo se admite una caída máxima de un 3%.

Después de la realización de las pruebas, se procede a rellenar el pozo y finalmente, se repiten las pruebas de nuevo.

CAPÍTULO X: SUELO RADIANTE

La instalación de suelo radiante sigue los siguientes pasos:

- Preparación del suelo y disposición de la banda perimetral.
- Instalación del colector de suelo radiante.
- Aplicación de la capa aislante.
- Colocación tuberías.
- Comprobación de la instalación.
- Aplicación del mortero.
- Colocación del pavimento.

1. Preparación suelo

Se despeja y nivela el terreno. Este se alisa para colocar fácilmente las placas aislantes y así, evitar la aparición de grietas en ellas. También, si es necesario, se puede aplicar una película de aislamiento térmico a la capa base para evitar la entrada de humedad.

Se coloca una banda perimetral del mismo modo que se colocaría un rodapié. Esta ayuda a evitar humedades, puentes térmicos y problemas de absorción de dilataciones.

2. Instalación del colector de suelo radiante

Se instalan aquellos colectores encargados de la conexión entre el sistema de climatización y la bomba de calor. Desde este punto, diferentes lazos de tuberías irán y regresarán, permitiendo así a la regulación individual de cada habitación.

Se debe colocar en un lugar accesible, pues existen ocasiones en las que el circuito necesita una limpieza.

3. Aplicación de la capa aislante

Se colocan los paneles o placas aislantes que componen la capa aislante. Gracias al sistema de machihembrado, la instalación de estas es sencilla, aunque deben de estar bien colocadas, pues un pequeño hueco entre placas permite el paso de mortero pudiendo provocar un puente térmico.

4. Colocación de tuberías

Los conductos por los cuales circulará el fluido caloportador se colocan encima de la capa aislante. Los paneles aislantes tienen protuberancias, por tanto, la colocación de las tuberías es fácil pues se quedan enganchadas en estas.

Estas tuberías se comercializan enrolladas, por tanto, una persona debe desenrollar mientras que otra persona encaja las tuberías en los paneles aislantes.

Al colocarlos, la distancia entre tubos puede depender de:

- la orientación: las zonas sur de la casa suelen tener mayor temperatura.
- puntos de pérdida de calor: elementos que cooperan con las pérdidas de calor son las ventanas y las puertas.
- uso de la habitación: dependiendo de la estancia, esta necesitará más calor o no, una habitación en invierno requiere más calor que un pasillo, por tanto, las tuberías en la habitación estarán más cerca unas de otras que en el pasillo.

La colocación de las tuberías será como la mostrada en la Ilustración 10.

Se utilizará un programa para calcular tanto la longitud de tubería como las distancia entre ellas. El nombre del programa es OVplan. Este dará como resultados la distribución de los circuitos y el listado de materiales.

5. Comprobación de la instalación

Antes de cubrir las tuberías con mortero, se deben hacer pruebas en el sistema, para verificar que no existen fugas y que su funcionamiento es correcto. Para ello, las tuberías deben ser examinados con una presión constante de 6 bares durante 24 horas, antes de taparlas.

También se pueden realizar ajustes para equilibrar el flujo del fluido circulante en todo el sistema. Se considera un funcionamiento correcto, cuando la temperatura de retorno es igual en todas las tuberías y que el salto de temperatura entre la entrada y salida sea aproximadamente 8°C, no puede superar los 10°C.

6. Aplicación del mortero

Para poder verter el mortero, la temperatura del mortero y del suelo no debe ser menor a 5°C durante 3 días. El espesor de la capa será de aproximadamente 5 cm. Lo ideal es verter un mortero autonivelante para facilitar posteriormente la colocación del pavimento, pues si no se vierte correctamente, la resistencia térmica del suelo aumenta.

7. Colocación del suelo

Tras 28 días del vertido del mortero, se puede colocar el solado.

El mejor tipo de solado para suelo radiante es de baldosa y piedra, pero es compatible con casi todos los tipos de suelo.

Se utilizarán suelos de madera. Cada tipo de madera tiene sus propiedades. Se busca una que sea densa pero que permita láminas delgadas, pues permiten un intercambio más fácilmente. El parquet es la opción más idónea, pues permite variaciones de temperatura sin verse afectada.

La temperatura del suelo no debe superar los 27°C.

CAPÍTULO XI: BOMBA

En el catálogo actual del mercado aparecen varias opciones de las cuales escogemos una que cumpla con los requisitos fijados y que satisfaga la demanda.

Se debe tener en cuenta el caudal fijado y la caída de presión más desfavorable en el ramal.

Las bombas que se acercan a lo buscado son de las empresas Grupo Ciat y Grupo Ecoforest. Estas pueden ser una gran medida para la instalación.

De entre estas, se escoge la Ecoforest ECOGEO C3 3-22kW. Se trata de una bomba monofásica que provee al sistema tanto calor como frío activo. Incluye un compresor, un evaporador, un condensador y una válvula de expansión electrónica.

La ficha técnica se encuentra en el ANEXO III: FICHA TÉCNICA BOMBA.

En la siguiente tabla se presenta los datos más representativos.

Pot. máxima de calefacción	25 kW
Pot. máxima de refrigeración	22 kW
COP	4.9
EER	5
Fluido circulante	R410-a
Caudal intercambiador interior	2500 l/h
Caudal intercambiador exterior	2500 l/h
Precio	8950 €

Tabla 17: Valores representativos de la bomba seleccionada (EcoForest, s.f.)

CAPÍTULO XII: FLUIDO CIRCULANTE

1. Fluido refrigerante de la bomba

El fluido refrigerante de la bomba viene dado por el fabricante, dado que cada bomba admite un tipo de líquido determinado. En este caso se trata de R-410a.

El caudal de la bomba considerado es 2500 l/h.

2. Fluido circulante de las sondas

El fluido circulante es el que circula por la red de tuberías y suele ser agua o agua con anticongelante como el etilenglicol 30%.

Según la IDAE, la elección de este fluido se basa en 5 características. (IDAE, 2010)

- Conductividad térmica y viscosidad
- Punto de solidificación o congelación
- Rozamiento
- Corrosividad, inflamabilidad y toxicidad
- Coste

Se considera un caudal del fluido circulante de 2500 l/h.

3. Fluido circulante en el suelo radiante

Se calcula el caudal circulante dentro del circuito. Para ello, se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{P}{c_e * \rho * \Delta t} \quad \text{Ec. 24}$$

Donde:

Q : caudal (m^3/s)

P : potencia térmica (W)

C_e : calor específico (J/kg*°C)

ρ : densidad del fluido (kg/m³)

Δt : salto térmico (°C)

Al tratarse de agua, donde el calor específico es 1 kcal/kg°C y la densidad es 1 kg/m³, tenemos una simplificación de la ecuación anterior:

$$Q = 0.86 * \frac{P}{\Delta t} \qquad \text{Ec. 25}$$

Donde:

Q : caudal (l/h)

P : potencia térmica (W)

Δt : salto térmico (°C)

Consideraremos un salto térmico entre 5-8 °C, comúnmente utilizado un salto de 5°C.

Por tanto, se obtiene un caudal de 1969.572 l/h cuando el sistema funciona en modo refrigeración y un caudal de 2378.244 l/h, con un caudal en cada zona climatizada entre 0.35-0.58 l/min, según la superficie de cada una, es decir entre 21-34.8 l/h.

BLOQUE V: ESTUDIO ECONÓMICO

Al empezar un proyecto de este porte, antes de empezar con la mano de obra, se debe realizar un estudio económico.

Dentro de este estudio se tendrán en cuenta presupuesto, ayudas y subvenciones y los costes.

CAPÍTULO XIII: PRESUPUESTO

El presupuesto está compuesto por los costes previstos para todos los elementos dentro de la instalación de los sistemas de captación y distribución y de la bomba de calor.

En la siguiente tabla viene desglosado el presupuesto.

		Unidades	€/u	Total
Equipos	Bomba ECOGEO C3 3-22kW	1	8950 €	8950 €
	Sondas FERRO TERM PE-100 de doble U 32 x 3 mm,100 m	2	2870 €	5740 €
	Suelo radiante	272 m ²	50 €/m ²	13600 €
	Fluido circulante: agua-etilenglicol	150 L	3.07 €	456 €
	Otros materiales (filtros, manguitos, termómetros, válvulas, etc)	-	-	3000€
	Control electrónico	1	570 €	570 €
Mano de obra y maquinaria	Perforación	200 m	20 €	4000 €
	Instalación de bomba (5 días)	40 h	20 €	800 €
Permisos	Legalización	-	600 €	600 €
Proyecto	De Perforación	1	890 €	890 €
	Memoria técnica	1	1000 €	1000 €
Total sin impuestos				39606 €
Total con impuestos (21%)				47923.26 €

Tabla 18: Tabla presupuesto inicial del proyecto

CAPÍTULO XIV: COSTES

1. Costes de uso anual

Con los valores obtenidos en el apartado de Módulo de las cargas térmicas, se calcula la carga eléctrica total.

Carga total térmica de calefacción	13072 kWh
Carga total térmica de refrigeración	11451 kWh
COP bomba	4.9
EER bomba	5.2
Carga eléctrica de calefacción	2667.76 kWh
carga eléctrica de refrigeración	2202.12 kWh
Carga eléctrica total	4869.87 kWh

Tabla 19: Carga eléctrica total

Se calcula el precio total de la energía eléctrica necesaria. Para ello se necesita conocer el valor del precio medio del kWh en España.

Precio medio del kWh en España (18/07/2023)	0.22872 €/kWh
Precio anual	2003.59 €

Tabla 20: Precio total eléctrico anual

2. Costes de personal y material

Para el cálculo de costes de personal, se tienen en cuenta las horas del alumno que realiza el TFG, su director y el impuesto de Seguridad Social.

- Se considera que el número de horas que el alumno le ha dedicado al proyecto es de un total de 200 horas de trabajo y que el coste por hora es de 10€. La asignatura cuenta con 6 ECTS, por tanto, el número de horas está por encima de lo mínimo, 165 horas.
- Se considera que el número de horas que el director le ha dedicado al proyecto durante las 34 semanas es la suma de horas de reuniones. Se conoce que una vez por semana se han tenido reuniones de media hora, aproximadamente, y se

consideran 3 horas de trabajo extras, por tanto, el total de horas son 20, a un coste cada hora de 35€.

- El impuesto de la Seguridad Social es un 33%.

Coste total del alumno	2000 €
Coste total del director	700 €
Total con Seguridad Social	3591€

Tabla 21: Costes de personal totales

Para el cálculo de costes de material, se tienen en cuenta todos los recursos utilizados para llevar a cabo el proyecto.

- Ordenador: a no ser de un solo uso y con una vida útil de alrededor de 6 años, y un uso de 8 horas al día, calculamos que parte de la amortización se ha conseguido. Si inicialmente el ordenador costó alrededor de 1200 €, y la amortización es lineal:

$$Amortización = \frac{200}{6 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 8} = 0.00057$$

- Energía eléctrica consumida: se considera que se han consumido alrededor de 43 W de luz y 80 W del uso del ordenador, un total de 123 W. El coste de este es:

$$123 \text{ W} * 200 * 0.22872 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 5.63 \text{ €}$$

- Licencias de programas: los softwares utilizados son de licencia gratuita para estudiantes.

	Cantidad	€/u	Total
Ordenador	0.00057	1200	0.684 €
Energía eléctrica consumida	123 W	0.22872 €/kWh	5.63 €
Licencias	5	-	-
Total + IVA (21%)			7.63 €

Tabla 22: Costes totales de material

Por tanto, los costes totales son:

Costes totales de personal	3591 €
Costes totales de material	7.63 €
Costes totales	3598.63 €

Tabla 23: Presupuesto total del trabajo

CAPÍTULO XV: PRESUPUESTO FINAL

El presupuesto final será la suma de los resultados anteriores:

Presupuesto inicial con impuestos	47923.26€
Costes de personal y material	3598.63 €
Total	51521.89 €

Tabla 24: Presupuesto final del proyecto

Total: **CINCUENTA Y UN MIL QUINIENTOS VEINTIÚN EUROS CON OCHENTA Y NUEVE CÉNTIMOS**

CAPÍTULO XVI: AYUDAS Y SUBVENCIONES

Existen subvenciones y ayudas dadas por el Estado a aquellos que instalen sistemas de climatización de energías renovables como son la geotermia, la aerotermia, solar térmica y calderas de biomasa.

En este caso, al tratarse de una instalación de geotermia cerrada ofrecen una ayuda de 2250 €/kW hasta un máximo de 13500€. Además, al instalarse suelo radiante, las ayudas son mayores hasta 17100€. (Gil, s.f.) Estas subvenciones terminan el 31 de diciembre del 2023. Para consultarlas, se debe acceder a la web del IDAE. (IDAE, 2010)

BLOQUE VI: CONCLUSIONES

Durante la memoria se ha expuesto lo que significa una instalación geotérmica. Se explican sus tres partes: el sistema de captación, el sistema de distribución y la bomba de calor.

Se descrito la vivienda unifamiliar y así como sus necesidades energéticas. Posteriormente, se han escogido los equipos que se consideran los adecuados para realizar una instalación geotérmica de manera correcta. Finalmente, se realiza un estudio económico del proyecto, donde se da como resultado 51521.89 €, llegando a este resultado gracias a las ayudas recibidas.

Una instalación geotérmica tiene como mínimo entre 25 años de vida útil, teniendo el sistema de captación una vida útil superior a 50 años. Es por esto, que la realización del proyecto es rentable, pues se amortiza en aproximadamente 15 años, pues sin la instalación geotérmica, la vivienda consumía alrededor de 5400€ anuales, pero tras la instalación, se reduce a unos 2000€ anuales, existiendo entonces un ahorro de 3400€. Por tanto, tiempo de amortización se calcula dividiendo el coste total de la instalación entre el ahorro anual, es decir, 51521.89€ entre 3400€, dándonos como resultado una **amortización de la instalación en 15.15 años**, es decir, 15 años y 2 meses aproximadamente.

Las instalaciones geotérmicas se ven muy poco afectadas por los cambios climatológicos, pues a cierta profundidad, la temperatura de subsuelo es prácticamente constante. Por otro lado, al ser la temperatura más cálida, al hacer el intercambio de calor, la bomba no requiere más energía para funcionar, siendo así más eficiente que una bomba de calor convencional.

Al usar una bomba de calor, esta puede invertirse y así proporcionar aire acondicionado y calor. Por otro lado, esta puede instalarse en un cuarto sin ventilación ni salida de humos, pues no producen emisiones. Puede estar instalada junto a sus calderas en un sótano o garaje.

Por último, es un sistema silencioso y no crea un impacto visual pues todo se encuentra enterrado, en un sótano o bajo el parquet.

Bibliografía

Akiter. (s.f.). Obtenido de <https://www.akiter.com/transformacion-vivienda-unifamiliar-instalacion-geotermica/>

Arroyo, C. (s.f.). *Cómo instalar suelo radiante por pasos*. Obtenido de <https://www.cronoshare.com/comunidad/ideas-proyectos/como-instalar-suelo-radiante>

B. (s.f.). Obtenido de <https://www.ingenierosindustriales.com/calculo-del-caudal-de-agua-en-instalaciones-de-calefaccion-o-climatizacion/>

Climate Data. (2023). Obtenido de Datos históricos del tiempo Pozuelo de Alarcón (1991-2021).

EcoForest. (s.f.). Obtenido de <https://ecoforest.com/es/productos/bombas-de-calor/geotermia/ecogeo-5-22/>

Efinovatic, & CENER. (s.f.). *CE3Xv2.3*.

Enel Green Power. (s.f.). Obtenido de <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-geotermica/ventajas#:~:text=Gracias%20a%20centrales%20longevas%2C%20seguras,todas%20las%20demás%20energ%C3%ADas%20verdes.>

Energías renovables. (s.f.). Obtenido de <https://www.energias-renovables.com/geotermica/castilla-y-leon-ha-instalado-mas-de-20150603>

Ferroterm. (s.f.). *Sistema de geotermia*. Obtenido de https://www.ferrosystems.com/opencms/export/sites/ferrosystems/galeria_descarga/productos/10geotermia/Cat_Tec_Sistema_Geotermia_FERROTERM.pdf

Fomento, M. d. (2013). *Código Técnico de Edificación CTE*.

García, M. Z. (s.f.). *Bombas de calor geotérmicas*. Obtenido de <https://www.comillas.edu/documentos/catedras/crm/report10/mesa5-zamora.pdf>

Bibliografía

Gil Pérez-Hickman, E. (2014). *Análisis de la viabilidad de un sistema de energía geotérmica en una vivienda unifamiliar.*

Gil, V. (s.f.). *Ayudas para instalaciones de energía renovable y ahorrar en calefacción.* Obtenido de <https://www.lainformacion.com/economia-negocios-y-finanzas/ayudas-ahorrar-calefaccion-energia-renovable/2880416/#:~:text=Ayudas%20base%20para%20realizar%20las%20instalaciones&text=Geotermia%2C%20circuito%20cerrado%3A%202.250%20euros,de%209.000%20euros%20p>

Gregorio, M. D. (2022). *Plataforma Tecnológica y de Innovación Española Geoplat.*

Grupo Lasser. (s.f.). Obtenido de <https://grupolasser.com/que-son-los-fan-coils-y-como-funcionan-en-climatizacion/>

GUASH. (s.f.). *Catálogo de características de líquido refrigerante.* Obtenido de https://www.e-guasch.com/onlinedocs/catalogue/appnotes/AN090903_c.pdf

Gómez, B. G. (2019). *INSTALACIÓN GEOTÉRMICA DE CALEFACCIÓN Y ACS EN UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR SITUADA EN LUGO.* Cantabria.

Habitissimo. (s.f.). Obtenido de <https://www.habitissimo.es/presupuestos/instalar-calefaccion-geotermica>

IDAE. (s.f.). Obtenido de <https://www.idae.es>

IDAE, A. G. (2010). *Guía Técnica de Condiciones Climáticas Exteriores de Proyectos.*

IGME. (s.f.).

Kavanaugh, S., & Rafferty, K. (1997). *Ground Source Heat Pumps: Design of Geothermal Systems for Commercial and Institutional Buildings.*

Lozano, C. L. (s.f.). *Calefacción por bomba de calor geotérmica utilizando los refrigerantes de nueva generación.* Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/30042354.pdf>

Macplast. (s.f.). Obtenido de <https://www.macplast srl.it/es/geotermia/232-sonda-geotrmica-con-cuatro-vas.html>

Maxlor. (s.f.). Obtenido de https://www.solberland.es/archivos/docproductos/manuales/MAXLOR_Manual.y.guia.de.Instalacion.suelo.radiante%20MAXLOR_03.2019.pdf

Metoblue. (2023). *Archivo meteorológico Pozuelo de Alarcón*.

Ministerio de transportes, m. y. (2022). Documento Básico HE. Ahorro de Energía.

Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. (2007). *RITE, Reglamento instalaciones térmicas en los edificios*. Obtenido de <https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Paginas/InstalacionesTermicas.aspx>

Moran, M. J., & Shapiro, H. N. (2004). *Fundamento de la termodinámica técnica*. Reverté S.A.

Mundo HVAC&R. (s.f.). Obtenido de Calefacción por suelo radiante: criterios de diseño y cálculo: <https://www.mundohvacr.com/2018/11/calefaccion-por-suelo-radiante-criterios-de-diseno-y-calculo/>

ODS. (2023). Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

ODS, C. (2020). Obtenido de https://www.mre.gov.py/ods/?us_portfolio=produccion-y-consumo-responsables

Paud, D. (2002). *Geothermal energy and heat storage*.

PrecioGas. (2023). Obtenido de <https://preciogas.com/instalaciones/equipamiento/suelo-radiante>

Rivas, R. M. (2020). *Instalaciones de geotermia*.

Rodríguez, A. (2018). *Cálculo de una instalación geotérmica*.

Bibliografía

Tectónica. (2023). Obtenido de <https://tectonica.archi/materials/pilotes-geotermicos/>

Thermodynamics. (s.f.). *Geotermia*. Obtenido de <http://dim.usal.es/eps/mmt/geotermia/>

Trillo, G. L., & Ángulo, R. V. (s.f.). *Guía de la Energía Geotérmica*. Comunidad de Madrid.

Valdeolivas, A. B. (2019). *Estudio de viabilidad técnica y medioambiental de implantación de un sistema de captación de calor geotérmico para la climatización de una vivienda unifamiliar aislada*. UPM.

Amador, F. (2023). *Arquitecto con estudio en Valdemoro*. Amador-Page Arquitectos. Madrid.

ANEXOS

ANEXO I: NORMATIVA

- Código Técnico de la Edificación (CTE) aprobado por el Real Decreto. 214/2006 el 17 de Marzo de 2006.
- Corrección de errores de la Orden FOM/1635/2013, de 10 de. septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE «Ahorro de Energía», del Código Técnico de la Edificación (BOE 08-noviembre-2013).
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (R.I.T.E) y sus correspondientes I.T.E. aprobado por el Real Decreto 1027/2007 el 20 de Julio de 2007.
- Real Decreto 238/2013, de 5 de Abril, por el que se modifican determinados artículos e instrucciones técnicas del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.
- Real Decreto 249/2010, de 5 de marzo, por el que se adaptan determinadas disposiciones en materia de energía y minas. Corrección de errores BOE de 23 de abril de 2010.
- Real Decreto 275/1995, de 24 de febrero, por el que se dicta las disposiciones de aplicación de la Directiva del Consejo de las
- Comunidades Europeas 92/42/CEE, relativa a los requisitos de rendimiento para las calderas nuevas de agua caliente alimentadas con combustibles líquidos o gaseosos, modificada por la Directiva 93/68/CEE del Consejo.
- Real Decreto 2060/2008, de 12 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias.
- Corrección de errores del Real Decreto 2060/2008 (BOE 260 de 28
- de Octubre de 2009).
- Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental. Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis.
- Real Decreto 830/2010, de 25 de junio, por el que se establece la normativa reguladora de la capacitación para realizar tratamientos con biocidas.
- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión.
- Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire.

- Real Decreto 138/2011, de 4 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas y sus instrucciones técnicas complementarias.
- Norma UNE-EN ISO 7730:2006. Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local.
- Norma UNE-EN 15377-2009: Sistemas de calefacción en los edificios. Diseño de sistemas empotrados de calefacción y refrigeración por agua. Parte 1: Determinación de la capacidad nominal de diseño de calefacción y refrigeración. Parte 2: Diseño, dimensionamiento e instalación.
- Norma UNE-EN 1264:2009: Sistemas de calefacción y refrigeración de circulación de agua integrados en superficies. Parte 1: Definiciones y símbolos. Parte 2: Suelo radiante: Métodos para la determinación de la emisión térmica de los suelos radiantes por cálculo y ensayo.
- Norma UNE-EN 94002-2004: Instalaciones solares térmicas para. producción de agua caliente sanitaria. Cálculo de la demanda de energía térmica.
- Norma UNE-EN ISO 13790:2011: Eficiencia energética de los edificios. Cálculo del consumo de energía para calefacción y refrigeración de espacios.
- Norma UNE-EN 14511-2012: Acondicionadores de aire, enfriadoras de líquido y bombas de calor con compresor accionado eléctricamente para la calefacción y la refrigeración de locales. Parte 1: Términos y definiciones. Parte 2: Condiciones de ensayo. Parte 3: Métodos de ensayo.

(Gil Pérez-Hickman, 2014)

ANEXO II: CARGAS TÉRMICAS

REFRIGERACION		Municipio	Madrid	asn	687 Pt(Pa)	93340	ZC.HE1	D3					
Mes calefac.	Enero	Ts.ext. dis	0,3	Hr(%)	69	OMD °C	3,5	Tm.mes	6	DTCiud	0	difusa%	75
Est.referencia	54 Madrid (Retiro)	Latitud °	40,4	Long.Oes	3,7	Tm.anual	14,9	NPerce	1/99	asn	667		
Mes refriger.	Julio	Ts.ext. dis	33,6	Th °C	21,1	OMD °C	13,9	Tm.mes	25,4	DTCiud	0		
Mes cálculo	7	Dia	21	hora.solar	15	Tipo atmósfera	Estándar	Reflexión alrededores		Estándar			
Exteriores		Temp. °C	33,47	Hr(%)	34,0	W(kg/ka)	0,0119						
Interiores		Temp. °C	25,00	Hr(%)	30,0	W(kg/ka)	0,0064						
DATOS ZONA		Super.(m2)	Vol.(m3)	Zona	Tipo	Alfombra: %	Acrist: Aplicación	IDA	Control				
Nombre	Generico	100	300	Exterior	Medio	SA	23 Residencial	IDA2	Cte ocup.				
OPACOS ext		A.Neta(m2)	Bruta(m2)	U(W/m2K)	color	coef.abs			Qsen (W)	Qlat (W)			
Techo	107,0	117,0	0,359	Medio	0,8				322	0			
N-Muro	29,2	39,2	0,49	Medio	0,8				27	0			
NE-Muro	0,0	0,0	0,5	Medio	0,8				0	0			
E-Muro	48,4	58,4	0,49	Medio	0,8				153	0			
SE-Muro	0,0	0,0	0,5	Medio	0,8				0	0			
S-Muro	33,0	50,0	0,49	Medio	0,8				53	0			
SO-Muro	0,0	0,0	0,5	Medio	0,8				0	0			
O-Muro	46,7	56,7	0,49	Medio	0,8				64	0			
NO-Muro	0,0	0,0	0,5	Medio	0,8				0	0			
Suelo	117,0	117,0	0,355						70	0			
OPACOS otros		Cont.ext	Totro(°C)	z(m)	b	Ais.perin D(m)	k(W/mle(m)						
Otro Local 1	0,0	0,0	1,5	Medio	29,2	0,5			0	0			
Otro Local 2	0,0	0,0	1,5	Medio	29,2	0,5			0	0			
Muro Terreno	0,0	0,0	1			1			0	0			
Suelo Terreno	100,0	100,0	1			0	C.ais.Hz	1 0,03 0,10	-149	0			
S.Vacio sanit	0,0	0,0	1,0			L(m)	L(estimada_m)		0	0			
Puentes térmicos otros			0,2			100	129		136	0			
Puentes térmicos ventanas			0,2			70	122		95	0			
									771	0			
VENTANAS		ancho(m)	alto(m)	c(m)	d(m)	e(m)	f(m)	g(m)	m(m)	n(m)	Qsen (W)	Qlat (W)	
Tipo		2,50	1,50	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Cortina transl.blanca		
Somb.1		Ucristal	Umarco	f	f	Pos.	%	Fsombra (0 sol, 1 sombra)					
Area (m2.)	g	(W/m2K)	(W/m2K)	FM	Uacce	Facce	Acce	Activo	aleros	Otros edif.			
Techo	10,0	0,83	3	2,2	0,402	1,00	0,52	Int	100	0	0	1861	
N-Muro	10,0	0,83	3	2,2	0,402	1,00	0,52	Int	100	1	0	544	
NE-Muro	0,0	0,83	3	2,2	0,402	1,00	0,52	Int	100	1	0	0	
E-Muro	10,0	0,83	3	2,2	0,402	1,00	0,52	Int	100	1	0	626	
SE-Muro	0,0	0,83	3	2,2	0,402	1,00	0,52	Int	100	1	0	0	
S-Muro	17,0	0,83	3	2,2	0,402	1,00	0,52	Int	100	0,419	0	1083	
SO-Muro	0,0	0,83	3	2,2	0,402	1,00	0,52	Int	100	0,106	0	0	
O-Muro	10,0	0,83	3	2,2	0,402	1,00	0,52	Int	100	0,083	0	1322	
NO-Muro	0,0	0,83	3	2,2	0,402	1,00	0,52	Int	100	0,194	0	0	
Somb.2		Ucristal	Umarco	f	f	Pos.	%	Sin accesorios					
Techo	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1,00	Ext	100	0	0	0	
N-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1,00	Ext	100	1	0	0	
NE-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1,00	Ext	100	1	0	0	
E-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1,00	Ext	100	1	0	0	
SE-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1,00	Ext	100	1	0	0	
S-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1,00	Ext	100	0,546	0	0	
SO-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1,00	Ext	100	0,147	0	0	
O-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1,00	Ext	100	0,119	0	0	
NO-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1,00	Ext	100	0,259	0	0	
									5437	0			
INTERNAS		Frac.rad. Calef.(%)	W/m2	% sen	Reac/Transf.	Pot. Maxima (W)	Sen(W)	Lat(W)	Qsen (W)	Qlat (W)			
LUCES	0,8	10	5	Si			500		186	0			
EQUIPOS	0,1	10	3	100			300	0	148	0			
OCUPANTES		sexo	Calef.(%)	m2/ocup	Actividad	qs/per	ql/per	n.per.					
Media	10	10	De pie trab.ligero (tiendas)		89	121	890	1210	405	605			
VENTILACION		450 Exterior			Ts(°C)	33,47	W(kg/k)	0,0119	1132	1838			
INFILTRACION		0			Ts(°C)	33,47	W(kg/k)	0,0119	0	0			
MAYORAC.%		Sensible	10	Latente	5	W/m2	114,51	Total (W)	11451	FCS	0,776	8886	2565
Hora max.sen.	15			W/m2	114,509	Total (W)	11451	FCS	0,776	8886	2565		



CALEFACCION		Municipio	Madrid	asnm	687 Pt(Pa)	93340	ZC.HE1	D3				
Mes calefac.	Enero	Ts.ext. dis	0,3 Hr(%)	69 OMD °C	3,5 Tm.mes	6 DTCiud	0 difusa%	75				
Est.referencia	54 Madrid (Retiro)	Latitud °	40,4	Long.Oes	3,7 Tm.anual	14,9 NPerce	1/99 asnm	667				
Mes refriger.	Julio	Ts.ext. dis	33,6 Th °C	21,1 OMD °C	13,9 Tm.mes	25,4 DTCiud	0					
Mes cálculo	1 Dia	21 hora.solar	9	Tipo atmósfera	Estándar	Reflexión alrededores	Estándar					
Exteriores	Temp. °C	0,73 Hr(%)	66,9 W(kg/kg)	0,0029								
Interiores	Temp. °C	22,00 Hr(%)	50,0 W(kg/kg)	0,0089			Hora max.sen	7				
DATOS ZONA		Super.(m2)	Vol.(m3)	Zona	Tipo	Alfombra: %	Acrístz	Aplicación	IDA	Control		
Nombre	Generico	100	300	Exterior	Medio	SA	23	Residencial	IDA2	Cte ocup.		
OPACOS ext		A.Neta(m Bruta(m2)	U(W/m2K)	color	coef.abs	Qsen (W)		Qlat (W)				
Techo	107,0	117,0	0,359	Medio	0,8	-760	0					
N-Muro	29,2	39,2	0,39	Medio	0,8	-231	0					
NE-Muro	0,0	0,0	0,3893986	Medio	0,8	0	0					
E-Muro	48,4	58,4	0,3893986	Medio	0,8	-383	0					
SE-Muro	0,0	0,0	0,3893986	Medio	0,8	0	0					
S-Muro	33,0	50,0	0,3893986	Medio	0,8	-261	0					
SO-Muro	0,0	0,0	0,3893986	Medio	0,8	0	0					
O-Muro	46,7	56,7	0,3893986	Medio	0,8	-370	0					
NO-Muro	0,0	0,0	0,3893986	Medio	0,8	0	0					
Suelo	117,0	117,0	0,36			-844	0					
OPACOS otros		Cont.ext	Totro(°C)	z(m)	b	Ais.perin D(m)		k(W/ml e(m)				
Otro Local 1	0,0	0,0	1,5	Medio	11,4	0,5		0				
Otro Local 2	0,0	0,0	1,5	Medio	11,4	0,5		0				
Muro Terreno	0,0	0,0	1		1			0				
Suelo Terreno	100,0	100,0	1		0	C.ais.Hz	1 0,03 0,10	-413				
S.Vacio sanit	0,0	0,0	1,0		L(m)	L(estimada_m)		0				
Puentes térmicos otros			0,2		100	129		-424				
Puentes térmicos ventanas			0,2		70	122		-297				
								-3984				
VENTANAS		ancho(m)	alto(m)	c(m)	d(m)	e(m)	f(m)	g(m)	m(m)	n(m)	Qsen (W)	Qlat (W)
Tipo	2,50	1,50	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Somb.1	Ucristal Umarco f f Pos. % Fsombra (0 sol, 1 sombra)											
	Area (m2.)	g	(W/m2K)	(W/m2K)	FM	Uacce	Facce	Acce	Activo	aleros	Otros edif.	
Techo	10,0	0,83	3	2,2	0,402	1,00	0,52	Int	100	0	0	-417
N-Muro	10,0	0,83	3	2,2	0,402	1,00	0,52	Int	100	1	0	-478
NE-Muro	0,0	0,83	3	2,2	0,402	1,00	0,52	Int	100	1	0	0
E-Muro	10,0	0,83	3	2,2	0,402	1,00	0,52	Int	100	0,069	0	-478
SE-Muro	0,0	0,83	3	2,2	0,402	1,00	0,52	Int	100	0,02	0	0
S-Muro	17,0	0,83	3	2,2	0,402	1,00	0,52	Int	100	0,065	0	-812
SO-Muro	0,0	0,83	3	2,2	0,402	1,00	0,52	Int	100	1	0	0
O-Muro	10,0	0,83	3	2,2	0,402	1,00	0,52	Int	100	1	0	-478
NO-Muro	0,0	0,83	3	2,2	0,402	1,00	0,52	Int	100	1	0	0
Somb.2	2,50	1,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Sin accesorios		
Techo	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1,00	Ext	100	0	0	0
N-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1,00	Ext	100	1	0	0
NE-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1,00	Ext	100	1	0	0
E-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1,00	Ext	100	0,083	0	0
SE-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1,00	Ext	100	0,03	0	0
S-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1,00	Ext	100	0,078	0	0
SO-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1,00	Ext	100	1	0	0
O-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1,00	Ext	100	1	0	0
NO-Muro	0,0	0,76	3	3	0,1	1,00	1,00	Ext	100	1	0	0
												-2661
INTERNAS		Frac.rad. Calef.(%)	W/m2	% sen	Reac/Transf.	Pot. Maxima (W)	Sen(W)	Lat(W)	Qsen (W)	Qlat (W)		
LUCES	0,8	10	5	Si			500		20	0		
EQUIPOS	0,1	10	3	100			300	0	7	0		
	sexo	Calef.(%)	m2/ocup	Actividad	qs/per	ql/per	n.per.					
OCUPANTES	Media	10	10	De pie trab.ligero (tiendas)	68,6	141,4	69	141	21	28		
VENTILACION	450	Exterior					Ts(°C)	0,73 W(kg/k	0,0029	-3178	-2236	
INFILTRACION	0						Ts(°C)	0,73 W(kg/k	0,0029	0	0	
MAYORAC.%	Sensible	10	Latente	5	W/m2	-130,72	Total (W)	-13072	FCS	0,82264	-10753	-2318
Hora max.sen.	7				W/m2	-138,274	Total (W)	-13827	FCS	0,83206	-11505	-2322



ANEXO III: FICHA TÉCNICA BOMBA**BOMBA DE CALOR : ecoGEO 5-22**

02/2018

- **Control de potencia térmica** modulante en un amplio rango (20-100%) y control de caudal modulante en los circuitos de captación y producción (20-100%).
- **Diseño compacto** que incluye circuladoras de captación y producción, vasos de expansión de 8 y 12 l para captación y producción respectivamente.
- **Sistema de recuperación de alta temperatura (HTR)** para la producción de ACS hasta 70 °C sólo con bomba de calor. Modelos con HTR. Sin resistencia.
- **Gestión integrada de hasta 4 temperaturas de impulsión diferentes**, 2 acumuladores de inercia diferentes (1 calefacción y 1 refrigeración), 1 acumulador de ACS, 1 piscina y control horario de la recirculación de ACS.
- **Gestión integrada de unidades de captación aerotérmicas modulantes**, tanto en sistemas de captación aerotérmicos o sistemas de captación híbridos geotérmico-aerotérmico.
- **Gestión integrada de equipos de apoyo externos** auxiliares todo/nada o modulantes, por ejemplo resistencias eléctricas o calderas todo/nada o calderas modulantes.
- **Gestión integrada de bloque de hasta 3 bombas de calor en paralelo.**
- **Gestión integrada de sistemas de emisión simultánea frío/calor** según esquema.
- En los **modelos 2 y 4** el frío pasivo va integrado en el equipo.
- Todos los modelos disponibles **Monofásicos y Trifásicos.**
- Productos compatibles con **e-manager y e-system**
- **Contadores de energía integrados** para consumo eléctrico, producción térmica de calor/frío y rendimientos instantáneos y estacionales mensual y anual.



ESPECIFICACIONES ECOGEO B/C 5-22		UDS.	B/C1	B/C2	B/C3	B/C4
APLICACION	Lugar instalación	-	Interior			
	Tipo sistema captación ¹	-	Geotérmico / Aerotérmico / Híbrido			
	Calefacción	-	✓	✓	✓	✓
	Posibilidad de sistema recuperación alta temp. HTR	-	✓	✓	✓ de ACS	✓ de ACS
	Refrigeración activa integrada	-	-	-	-	✓
	Refrigeración pasiva integrada	-	-	✓	-	✓
PRESTACIONES	Rango modulación compresor	%	25 a 100			
	Potencia calefacción ² , B0W35	kW	5,8 a 25			
	COP ² , B0W35 ¹⁰	-	4,9			
	Potencia refrigeración activa ² , B35W7	kW	-	6 a 22		
	EER ² , B35W7	-	-	5		
	Temperatura ACS máxima sin apoyo	°C	63			
	Temperatura ACS máxima con apoyo ⁵	°C	70			
	Nivel emisión sonora ⁶ , ¹⁰	db	35 a 46			
	Etiqueta energética / r/s con control clima medio ¹⁰	-	A+++ / 187%			
	Rango temperaturas calefacción / Consigna	°C	10 a 60 / 20 a 60			
Rango temperaturas refrigeración / Consigna	°C	4 a 35 / 7 a 25				
Rango temperaturas captación calefacción	°C	-25 a +35				
Rango temperaturas disipación refrigeración	°C	10 a 60				
Presión circuito refrigerante mínimo / máximo	bar	2 / 45				
Presión circuito de producción / precarga	bar	0,5 a 3 / 1,5				
Presión circuito de captación / precarga	bar	0,5 a 3 / 0,7				
Presión máxima acumulador ACS	bar	8 (solo para ecoGEO C)				
FLUIDOS DE TRABAJO	Carga de refrigerante R410A	kg	1,7 (sin HTR) / 2 (con HTR)	2		
	Tipo de aceite del compresor/carga de aceite	kg	POE / 1,18			
DATOS ELECTRICOS CONTROL	1/N/PE 230 V / 50-60 Hz ⁸	-	✓			
	Protección externa máxima recomendada ⁹	A	C16A			
	Fusible circuito primario transformador	A	0,5A			
	Fusible circuito secundario transformador	A	2,5			
DATOS ELECTRICOS BOMBA DE CALOR MONOFASICA	1/N/PE 230 V / 50-60 Hz ⁸	-	✓			
	Protección externa máxima recomendada ⁹	A	C50A			
	Consumo máximo ² , B0W35	kW/A	5,6 / 28,2			
	Consumo máximo ² , B0W55	kW/A	7,8 / 39,2			
	Intensidad arranque mínima/máxima ⁷	A	6,1 / 15,7			
	Corrección de coseno Ø	-	0,96 / 1			
DATOS ELECTRICOS BOMBA DE CALOR TRIFASICA	3/N/PE 400 V / 50-60Hz ⁸	-	✓			
	Protección externa máxima recomendada ⁹	A	C20A			
	Consumo máximo ² , B0W35	kW/A	5,6 / 8			
	Consumo máximo ² , B0W55	kW/A	7,8 / 11,2			
	Intensidad arranque mínima/máxima ⁷	A	2 / 5,2			
Corrección de coseno Ø	-	0,96-1				
DIMENSIONES Y PESO	Altura x ancho x profundidad	mm	ecoGEO B: 1060x600x710 - ecoGEO C: 1804x600x710			
	Peso en vacío (sin ensamblaje)	kg	B 185 - C 247	B 193 - C 255	B 185 - C 247	B 193 - C 255

- Sustituyendo o combinando el captador geotérmico por una o varias unidades aerotérmicas ecoGEO AU12. Consulte el manual de las unidades aerotérmicas ecoGEO AU12 para información más detallada.
- Conforme a EN 14511, incluyendo el consumo de bombas de circulación y driver del compresor.
- Considerando caudales en los circuitos de captación y producción de 2500 l/h.
- Considerando un calentamiento desde 20 a 50 °C en ausencia de consumos.
- Considerando un apoyo con la resistencia eléctrica de emergencia o con el sistema HTR. La temperatura máxima de ACS con el sistema HTR puede estar limitada por la temperatura de descarga del compresor.
- Conforme a EN 12102, incluyendo el kit de aislamiento acústico del compresor.
- Intensidad de arranque depende de condiciones de trabajo de los circuitos hidráulicos.
- El rango de tensión admisible para un correcto funcionamiento de la bomba de calor es de ±10%.
- El consumo máximo puede variar significativamente con las condiciones de trabajo, o si se limita el rango de operación del compresor. Consulte el manual de servicio técnico para información más detallada.
- Pendiente de certificación.

ANEXO IV: FICHA TÉCNICA TUBOS SUELO RADIANTE

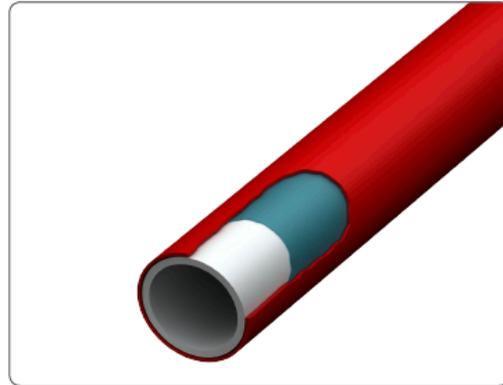
PEX-a Pipe

Overview

The Warmup PEX-A pipe is formed as a single extrusion with an adhesive layer and EVOH oxygen barrier. The EVOH layer restricts the ingress of oxygen into the heating system, reducing oxidation of critical components in the primary system and extending their service life.

The minimum 70% cross linking within the PE material provides superior mechanical properties to the pipe, with a maximum working temperature and pressure of 95°C and 6 bar respectively.

The PEX-A pipe has a high thermal conductivity of 0.41W/mK, substantially greater than an equivalent polybutylene pipe at 0.22W/mK. This enables our systems to emit between 3% and 6% more heat from the same water temperature as equivalent systems using PB pipe.



0345 345 2288
uk@warmup.com
www.warmup.co.uk



Hydronic
Heating System

Warmup
The world's best-selling floor heating brand™

Technical Specifications

PEX-A PIPE - TECHNICAL SPECIFICATIONS						
CODE	DIMENSIONS	MAX. WORKING TEMPERATURE	MAX. OPERATING PRESSURE	COMPOSITION	THERMAL CONDUCTIVITY	WATER CAPACITY
WHS-P-PEXA-25	PEX-A 16mm x 2mm x 25m	95°C	6 Bar	PEX-A 70% cross linked	0.41 W/mK	16mm pipe - 0.113 l/m
WHS-P-PEXA-50	PEX-A 16mm x 2mm x 50m					
WHS-P-PEXA-60	PEX-A 16mm x 2mm x 60m					
WHS-P-PEXA-70	PEX-A 16mm x 2mm x 70m					
WHS-P-PEXA-80	PEX-A 16mm x 2mm x 80m					
WHS-P-PEXA-90	PEX-A 16mm x 2mm x 90m					
WHS-P-PEXA-100	PEX-A 16mm x 2mm x 100m					
WHS-P-PEXA-110	PEX-A 16mm x 2mm x 110m					
WHS-P-PEXA-120	PEX-A 16mm x 2mm x 120m					
WHS-P-PEXA-200	PEX-A 16mm x 2mm x 200m					
WHS-P-PEXA-300	PEX-A 16mm x 2mm x 300m					
WHS-P-PEXA-500	PEX-A 16mm x 2mm x 500m					

NOTE: Range of PE-RT & PE-RT/AL/PE-RT pipes also available. Please contact Warmup on 0845 034 8270 for further information

Pipe Accessories

Overview

Pipe Calibrator:



Allows you to ensure the underfloor heating pipes are prepared correctly for connections and pipe fittings

PIPE CALIBRATOR - TECHNICAL SPECIFICATIONS

Material:	Plastic
Pipe diameters covered:	10/12/13/14/15/16mm

Pipe Cutters:



Allows you to ensure a clean cut is made, when preparing heating pipes for connections and pipe fittings

PIPE CUTTERS - TECHNICAL SPECIFICATIONS

Max. pipe diameter:	WHS-P-CUT25 25mm WHS-P-CUT36 36mm
---------------------	--------------------------------------

Tacker Gun:



Allows for easier installation and fixing of underfloor heating pipes, suitable for use with both 40mm and 60mm clips

TACKER GUN - TECHNICAL SPECIFICATIONS

Max. pipe diameter:	20mm
Min. insulation thickness:	Tacker S/N:2000 30mm Tacker S/N:2010 50mm
Min. clips required:	5

Pipe Bend Support:



The bend support is used for supporting pipes to make a smooth 90-degree turn where needed & provides a rigid bend which changes the pipes direction without causing excessive bending

PIPE BEND SUPPORT- TECHNICAL SPECIFICATIONS

Material:	Plastic
Sizes available:	WHS-P-BEND 16mm WHS-P-BEND12 12mm



Hydronic
Heating System

0345 345 2288

uk@warmup.com
www.warmup.co.uk

Warmup
The world's best-selling floor heating brand™

Información Técnica

Dimensiones nominales de la gama de tuberías	16mm OD 2.0mm espesor de pared
Color	Natural
Tamaños de bobina	16 x 2mm – 240m, 500m
Pico de temperatura máxima	95 °C
Presión máxima de funcionamiento	6.0 bar
Construcción 5 capas:	PE-RT – Adhesivo – Barrera de Oxígeno (EVOH) – Adhesivo – PE-RT
Fabricación	EN ISO 22391

Propiedades mecánicas

Composición	PEX-A 70% cross linked
Rugosidad de la tubería	0.007 mm/m
Radio de curvatura	5 x outside diameter minimum
Capacidad de agua	16mm – 0.113 l/m
Permeabilidad al oxígeno	< 0.32 mg O ₂ / (M2. d)

Propiedades termales

Conductividad térmica	0.41 W/m K
-----------------------	------------