

1. MEMORIA



1. MEMORIA

1.1. OBJETO

El proyecto desarrollado tiene por objeto diseñar el sistema de captación de calor para la climatización de una vivienda unifamiliar en la población de Linares (Jaén).

El aumento en la demanda energética debido al continuo desarrollo y al aumento de población, así como los efectos no deseados a largo plazo en el uso de fuentes de energía convencionales, nos impulsan a utilizar un sistema basado en las energías renovables.

El sistema de climatización utilizado tendrá su origen en el aprovechamiento de la energía geotérmica, mediante el uso de una bomba de calor geotérmica.

Para la realización del proyecto deberemos estudiar:

- La demanda energética de la vivienda
- Analizar el terreno de implantación de las sondas geotérmicas y así calcular la dimensión y disposición de las mismas
- Calcular las unidades de climatización
- Realizar un presupuesto detallado

1.2. ANTECEDENTES

En una vivienda unifamiliar aislada se pretende instalar un sistema de climatización basado en el uso de energías renovables. Las distintas opciones a utilizar estarían basadas en el uso de energía fotovoltaica, solar térmica, biomasa o energía geotérmica.

La solución adoptada mediante energía geotérmica está fundamentada en las ventajas relacionadas con su autonomía, nulo mantenimiento, seguridad y durabilidad, así como otras características relativas a su limpieza y ausencia de ruidos.

1.3. NORMATIVA DE APLICACIÓN

La normativa vigente aplicable al proyecto de climatización mediante el uso de energía geotérmica, así como los documentos de seguimiento, serán:



- El Código Técnico de la Edificación (CTE) es el marco normativo que establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de Ordenación de la Edificación (LOE). En concreto se atenderá especialmente a los documentos básicos (DB) contenidos en el CTE: DB-HE: Ahorro de energía, cuyo objetivo consiste en conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios, reduciendo a límites sostenibles su consumo y conseguir asimismo que una parte de este consumo proceda de fuentes de energía renovable. DB-HS: Salubridad, que consiste en reducir a límites aceptables el riesgo de que los usuarios, dentro de los edificios y en condiciones normales de utilización, padezcan molestias o enfermedades, así como el riesgo de que los edificios se deterioren y que deterioren el medio ambiente en su entorno inmediato.
- El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), REAL DECRETO 1027/2007, que tiene por objeto establecer las exigencias de eficiencia energética y seguridad que deben cumplir las instalaciones térmicas en los edificios destinadas a atender la demanda de bienestar e higiene de las personas, durante su diseño y dimensionado.
- La guía técnica de Diseño de Sistemas de Bomba de Calor Geotérmica redactada por la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR) para el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), con el objetivo de promocionar la eficiencia en el uso final de la energía en los edificios.
- La guía técnica de Instalaciones de Climatización por Agua redactada por la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR) para el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), con el objetivo de promocionar la eficiencia en el uso final de la energía en los edificios.
- La guía técnica de Condiciones Climáticas Exteriores de Proyecto, redactada por la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR) para el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), con el objetivo de promocionar la eficiencia en el uso final de la energía en los edificios.



- Las normas UNE que sean de aplicación serán nombradas cuando se apliquen.
- Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental.

1.4. MEMORIA DESCRIPTIVA

1.4.1. DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL EDIFICIO

En este apartado se muestran las características y necesidades de la vivienda a climatizar, así como su emplazamiento, climatología y entorno geológico.

La vivienda a climatizar se encuentra en el camino de San Miguel s/nº, situada en los alrededores de la población de Linares.

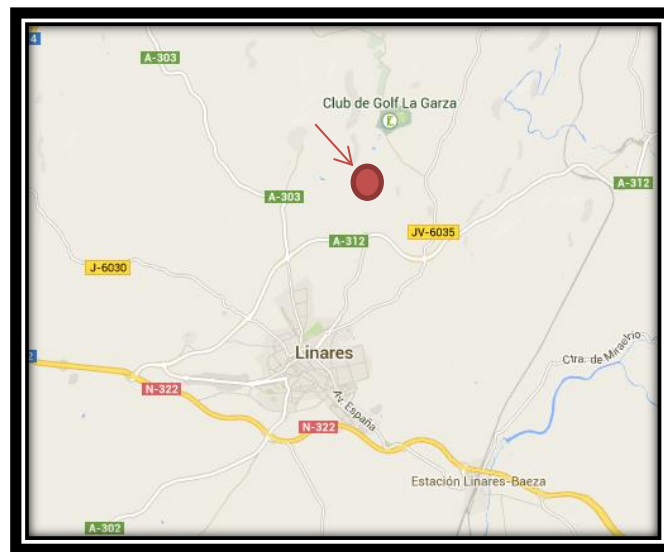


Fig. 1.- Ubicación geográfica de la vivienda a climatizar

Dicha vivienda consiste en una edificación de dos plantas, la cual se encuentra aislada aproximadamente a unos 3 km del casco urbano de la población. La planta baja está formada por 1 salón comedor, 1 dormitorio, 1 cocina y 1 baño; la planta superior consta de 3 dormitorios y 2 baños.



1.4.2. ORDEN A SEGUIR EN EL PROYECTO

Para realizar un seguimiento ordenado en la instalación de climatización y utilizando la IT 1.2 recogida en el RITE, procederemos de la siguiente forma:

- Cálculo de cargas térmicas del edificio
- Cálculo de la demanda térmica anual del edificio
- Selección del sistema de climatización

1.4.3. CONDICIONES DE DISEÑO

Para calcular las cargas térmicas del edificio es necesario establecer unas condiciones de diseño iniciales, de modo que se cumpla con la limitación de la demanda energética, recogida en la sección HE 1 del Código Técnico de la Edificación (CTE).

1.4.3.1. CONDICIONES INTERIORES DE CÁLCULO

Las condiciones interiores de diseño se recogen en la instrucción técnica IT 1.1.4.1.2 del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), en la que se fija la temperatura operativa y la humedad relativa en base a la actividad metabólica de las personas y grado de vestimenta. Se establece una temperatura de confort de 24°C y un 50% de humedad relativa (HR) para verano, y 22°C y 50% HR en invierno.

1.4.3.2. CONDICIONES EXTERIORES DE CÁLCULO

Las condiciones exteriores de cálculo se obtienen de la Guía Técnica de condiciones climáticas exteriores de proyecto. Se establecen las temperaturas de diseño exteriores, en invierno, de 0,8°C y en verano de 36°C.

1.4.4. CÁLCULO DE LA TRANSMITANCIA TÉRMICA DE LOS CERRAMIENTOS

La transmitancia térmica es el flujo de calor, en régimen estacionario, dividido por el área y por la diferencia de temperaturas de los medios situados a cada lado del elemento que se considera.

1.4.4.1. ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA

La vivienda del proyecto se encuentra situada en la población de Linares (Jaén). Según el Código Técnico de la Edificación (CTE), Documento Básico DB-HE, Ahorro de Energía, la zona climática a la que pertenece es la C4.



1.4.4.2. CLASIFICACIÓN DE LOS ESPACIOS

Los espacios interiores se clasifican en espacios habitables y no habitables. En el presente proyecto no existen espacios, objeto de diseño, que sean no habitables.

1.4.4.3. DEFINICIÓN DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA Y CLASIFICACIÓN DE SUS COMPONENTES

La envolvente térmica del edificio está compuesta por todos los cerramientos que limitan los espacios habitables con el ambiente exterior. El objetivo de su estudio es calcular las cargas térmicas de la vivienda.

Cerramiento	Descripción
Cubierta	Zona superior de la vivienda. Limita con el aire exterior a las condiciones exteriores de diseño
Suelo	Zona inferior de la vivienda
Fachadas	Cada una de las paredes verticales de la vivienda que limitan con el aire exterior a las condiciones exteriores de diseño. Su orientación es importante
Ventanas	Cada uno de los vidrios que forman parte de las cristalerías montadas a lo largo y ancho de las fachadas. Limitan con el aire exterior a las condiciones exteriores de diseño

Tabla 1.- Descripción y clasificación de los cerramientos de la vivienda

Los edificios dispondrán de una envolvente de características tales que limite adecuadamente la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico en función del clima de la localidad, del uso del edificio y del régimen de verano y de invierno.

1.4.4.4. PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LA DEMANDA

Se calculan las transmitancias de los cerramientos a partir de la resistencia que oponen al paso del calor (resistencias térmicas), en función de la composición lineal que



presentan. La transmitancia térmica, se define como la inversa de la resistencia térmica del componente constructivo.

1.4.4.5. LIMITACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

Según rige el CTE, los cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica no deben superar unos valores máximos tabulados, en función de la zona climática en la que se encuentra la vivienda.

Cada uno de los cerramientos que componen la vivienda del presente proyecto cumple con las exigencias de limitación de demanda energética establecidas en el CTE.

1.4.5. CARGAS TÉRMICAS

Cuando se habla de carga térmica sobre un edificio, se entiende que se habla de un fenómeno que tiende a modificar la temperatura interior del aire o su contenido en humedad. Tiene unidades de potencia y se puede establecer una primera clasificación de las cargas térmicas, según su incidencia:

- Cargas térmicas sensibles: aquellas que van a originar una variación en la temperatura del aire.
- Cargas térmicas latentes: las que van a originar una variación en la humedad absoluta del ambiente (contenido de agua en el aire)

El conocimiento de las cargas térmicas es imprescindible, como paso previo para acometer la tarea de diseñar el sistema de acondicionamiento del aire interior de un edificio, dependencia o local. La carga térmica puede calcularse tanto para refrigeración como para calefacción y siempre se toma el valor más desfavorable dentro de los cálculos.

1.4.5.1. CARGA TÉRMICA DE CALEFACCIÓN EN INVIERNO

El cálculo de la carga térmica de calefacción en invierno se realiza mediante la expresión:

$$Q_{TCE} = Q_{Transmisión} + Q_{Renovación} + Q_{Infiltración} - Q_{personas} - Q_{equipos} \quad (Ec.1)$$

1.4.5.2. CARGA TÉRMICA DE REFRIGERACIÓN EN VERANO

El cálculo de la carga térmica de refrigeración en verano se realiza mediante la expresión:



$$Q_{TRE} = Q_{Transmisión} + Q_{Renovación} + Q_{Infiltración} + Q_{personas} + Q_{equipos} \quad (Ec.2)$$

1.4.6. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN

La vivienda se climatizará por medio de una bomba de calor geotérmica. Tras su elección, de acuerdo con las necesidades térmicas del edificio, es necesario dimensionar el intercambiador de calor enterrado.

Un sistema geotérmico está integrado, generalmente, por tres subsistemas principales:

- Un intercambiador de calor subterráneo, también llamado bucle subterráneo, que extrae calor del subsuelo o evacua el calor de un edificio.
- Una bomba de calor, o termo bomba, que transfiere el calor entre el intercambiador de calor subterráneo y el sistema de distribución de un edificio.
- Un sistema de distribución que encauza el calor o el frío de las diferentes estancias de un edificio.

1.4.6.1. ELECCIÓN DE LA BOMBA DE CALOR

Se instalará una bomba de calor que cuenta con una potencia de refrigeración de 9,2 kW con un EER (rendimiento del sistema en modo refrigeración) de 4 y una potencia calorífica de 11,5 kW, con un COP (rendimiento del sistema en modo de calefacción) de 5, suficiente para abastecer las necesidades del proyecto.

1.4.6.2. ELECCIÓN DEL FLUIDO CIRCULANTE

Se empleará agua mezclada con Etilenglicol al 30%.

1.4.6.3. ELECCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN A EMPLEAR

La configuración de las sondas geotérmicas será vertical, debido a la diferencia de rendimiento que existe con el resto de configuraciones. En dicha configuración las fluctuaciones en la temperatura que se producen en el subsuelo son despreciables una vez se descienden 10 metros, permaneciendo la temperatura aproximadamente constante durante todo el año.



1.4.6.4. ELECCIÓN DEL LOS TUBOS

Se empleará una sonda de 32 milímetros de diámetro y 2,9 de espesor, fabricados en material Polietileno reticulado de alta calidad (PE-Xa), con disposición de doble U, con una longitud de 140 metros.

1.4.6.5. DIMENSIONAMIENTO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR ENTERRADO

La longitud de la sonda viene determinada, en función del modo de trabajo de la bomba de calor, por las siguientes expresiones:

$$L_{\text{calefacción}} = \frac{Q_{\text{calefacción}} \cdot \frac{\text{COP}-1}{\text{COP}} \cdot (R_p + R_s \cdot f_{\text{calefacción}})}{T_L - T_{\text{MIN}}} \quad (\text{Ec.3})$$

$$L_{\text{refrigeración}} = \frac{Q_{\text{refrigeración}} \cdot \frac{\text{EER}+1}{\text{EER}} \cdot (R_p + R_s \cdot f_{\text{refrigeración}})}{T_{\text{MAX}} - T_H} \quad (\text{Ec.4})$$

La longitud necesaria para que la bomba de calor otorgue la potencia que figura en sus especificaciones es de 218,07 metros en el modo calefacción y 265,43 metros en el modo refrigeración. Se empleará un tubo de 140 metros de longitud, de modo que se satisfagan las necesidades de intercambio de calor.

1.4.6.6. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

El objeto principal del presente proyecto consiste en diseñar la captación de calor mediante geotermia para climatizar el edificio. Por ello se propone una instalación nueva de unidades terminales en el edificio, que conseguirían un mejor rendimiento, y un menor consumo.

1.4.6.6.1. Unidades terminales

Se podrán instalar fan-coils de dos tipos. Una unidad, instalada en el salón-comedor, otorga una potencia de 2,29 kW en el modo frío y 2,88 kW en el modo calor; el resto, 8 unidades instaladas en el resto de la vivienda, otorgan una potencia de 1,55 kW en refrigeración y 2,19 kW en calefacción.



1.4.6.6.2. Circuito hidráulico

Estaría compuesto por tuberías de cobre, de modo que abastezcan a los fan coils en su caudal de agua necesario. Se compondrá de tubos de diámetros nominales 18 x 1 mm.

Todas ellas deben estar rigurosamente aisladas, según la instrucción técnica IT 1.2.4.2.1.2 del RITE, con un espesor de 25 mm.

1.5. MEMORIA DE CÁLCULO

El cálculo de cargas necesario para el dimensionamiento de un sistema de climatización seguirá unos pasos, los cuales se esquematizan a continuación.

En primer lugar es necesario fijar las condiciones interiores y exteriores de diseño, marcadas en el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE). Posteriormente se clasifican los espacios en los que se divide la vivienda, atendiendo a criterios de orientación, tipo de cerramiento, conductividad térmica, etc. Así se comprueba si el edificio cumple las exigencias del código técnico de la edificación sobre la limitación de demanda energética.

El cálculo de cargas térmicas se realiza mediante un balance energético entre las necesidades de la vivienda y las condiciones interiores y exteriores de diseño, diferenciando entre verano e invierno. Los cálculos se realizarán solamente para los meses de enero y julio, donde existen condiciones más extremas.

En el cálculo de cargas térmicas determinamos el calor que aportará el sistema de climatización en invierno, así como la ganancia de calor en verano que deberá evacuarse. Como se ha comentado, al calcular las cargas térmicas y dimensionar el sistema sólo para los meses críticos, durante el resto del año, con condiciones menos desfavorables, el sistema funcionará incluso con mayor rendimiento.

1.5.1. CONDICIONES DE DISEÑO

1.5.1.1. CONDICIONES INTERIORES DE CÁLCULO

Nos basamos en la IT.1 del Reglamento de instalaciones térmicas de los edificios (RITE), que trata sobre el diseño y dimensionado de la instalación.

La caracterización y cuantificación de la exigencia de bienestar e higiene atiende a las condiciones interiores de diseño, las cuales están recogidas en la Instrucción



Técnica (IT 1.1.4.1.2) del RITE, donde se fija la temperatura operativa y humedad relativa en función de la actividad metabólica de las personas y grado de vestimenta.

Estación	Temperatura operativa °C	Humedad relativa %
Verano	23...25	45...60
Invierno	21...23	40...50

Tabla 2.- Condiciones interiores de diseño según RITE

1.5.1.2. CONDICIONES EXTERIORES DE CÁLCULO

Las condiciones climáticas exteriores han sido obtenidas de la Guía Técnica de condiciones climáticas exteriores de proyecto, redactada para el IDAE. La información meteorológica ha sido facilitada por la Agencia Española de Meteorología, Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino.

Con estos datos conseguiremos una base de partida para los proyectos de estas instalaciones, que permite disponer de los valores de los parámetros que establecen las condiciones climáticas exteriores (temperatura seca y húmeda, oscilación media diaria, grados día de calefacción y refrigeración, etc.) para el cálculo de las cargas punta en calefacción y refrigeración, el dimensionado de equipos, su protección (heladas, altas presiones, etc.) o la estimación de la demanda y del consumo energético anual y mensual.

Los datos obtenidos de la estación meteorológica más próxima a nuestro proyecto son:



Guía técnica

Condiciones climáticas exteriores de proyecto

Provincia	Estación				Indicativo		
Jaén					5270B		
UBICACIÓN: ENTORNO CIUDAD			Nº DE OBSERVACIONES Y PERIODO				
a.s.n.m. (m)	Lat.	Long.	T seca	Hum. relativa	T terreno	Rad	
580	37º46'40"	03º48'27"W	16.724	14.322			
CONDICIONES PROYECTO CALEFACCIÓN (TEMPERATURA SECA EXTERIOR MÍNIMA)							
TSMIN (°C)	TS_99,6 (°C)	TS_99 (°C)	OMDC (°C)	HUMcoin (%)	OMA (°C)		
-7,8	0,8	2,6	7,5	74,7	35,2		
CONDICIONES PROYECTO REFRIGERACIÓN (TEMPERATURA SECA EXTERIOR MÁXIMA)							
TSMAX (°C)	TS_0,4 (°C)	THC_0,4 (°C)	TS_1 (°C)	THC_1 (°C)	TS_2 (°C)	THC_2 (°C)	OMDR (°C)
41,2	36,0	23,4	35,0	22,9	33,9	22,5	13,0
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)		
23,9	23,9	23,2	23,2	22,4	22,4		
VALORES MEDIOS MENSUALES							
Mes	TA (°C)	TASOL (°C)	GD_15 (°C)	GD_20	GDR_20	RADH (kWh/m² día)	TTERR (°C)
Enero	8,4	9,7	56	100	0		
Febrero	10,0	11,0	28	55	0		
Marzo	13,0	13,5	18	43	1		
Abril	14,6	15,2	11	32	2		
Mayo	19,1	19,7	4	16	11		
Junio	25,4	25,8	0	2	29		
Julio	27,6	28,3	0	1	42		
Agosto	27,2	27,7	0	1	40		
Septiembre	22,8	23,4	0	4	19		
Octubre	17,7	18,9	3	17	4		
Noviembre	11,7	13,8	19	44	0		
Diciembre	9,3	10,8	32	60	0		

Tabla 3.- Datos de la estación meteorológica

Para la interpretación de la tabla anterior, distinguiremos entre datos necesarios para calefacción y refrigeración, utilizando el concepto de nivel percentil (porcentaje de horas anuales en los que la temperatura de la localidad es sobrepasado por un cierto valor, es decir, el valor de la temperatura seca de una localidad con un nivel percentil del 0,4% supone que un número de horas de $24 \times 365 \times 0,4 / 100 = 35$ horas, la temperatura de dicha localidad está por encima de este valor).

Los datos referidos a calefacción son:

- TS (99,6%): temperatura seca (°C) de la localidad con un percentil del 99,6%
- TS (99%): temperatura seca (°C) de la localidad con un percentil del 99%
- TSMIN: temperatura seca (°C) mínima registrada en la localidad



- OMDC: oscilación media diaria (°C) (máxima-mínima diaria) de los días en los que alguna de sus horas están dentro del nivel percentil del 99%
- HUMcoin: humedad relativa media coincidente (%) (se da a la vez que se tiene el nivel percentil del 99% en temperatura seca)
- OMA: oscilación media anual de temperatura seca (°C). Se define como la diferencia de la temperatura seca con un nivel percentil del 0,4% respecto a la temperatura seca con un 99,6%

Los datos referidos a refrigeración son:

- TS (0,4%): temperatura seca (°C) de la localidad con un percentil del 0,4%
- THC (0,4%): temperatura húmeda coincidente (°C) en el mismo instante que se tiene una temperatura seca con el nivel percentil del 0,4%
- TS (1%): temperatura seca (°C) de la localidad con un percentil del 1%
- THC (1%): temperatura húmeda coincidente (°C) en el mismo instante que se tiene una temperatura seca con el nivel percentil del 1%
- TS (2%): temperatura seca (°C) de la localidad con un percentil del 2%
- THC (2%): temperatura húmeda coincidente (°C) en el mismo instante que se tiene una temperatura seca con el nivel percentil del 2%
- OMDR: oscilación media diaria (°C) (máxima-mínima diaria) de los días en los que alguna de sus horas están dentro del nivel percentil del 1%
- TSMAX: temperatura seca (°C) máxima registrada en la localidad
- TH (0,4%): temperatura húmeda (°C) de la localidad con un percentil del 0,4%
- TSC (0,4%): temperatura seca coincidente (°C) cuando se tiene una temperatura húmeda con el nivel percentil 0,4%
- TH (1%): temperatura húmeda (°C) de la localidad con percentil del 1%
- TSC (1%): temperatura seca coincidente (°C) cuando se tiene una temperatura húmeda con el nivel percentil del 1%
- TH (2%): temperatura húmeda (°C) de la localidad con un percentil del 2%
- TSC (2%): temperatura seca coincidente (°C) cuando se tiene una temperatura húmeda con el nivel percentil del 2%

Los datos relativos a cálculos simples de demanda de calefacción son:

- TA: temperatura seca media mensual (°C)
- TASOL: temperatura seca media mensual durante las horas de sol (°C)



- TTERR: temperatura media mensual del terreno (°C) a una profundidad de 20 cm
- RADH: radiación media diaria sobre superficie horizontal en forma mensual (kWh/m²)
- GD_{15/15}: grados día de calefacción con base 15/15 en forma mensual. Suma mensual del valor horario de la temperatura seca con respecto a 15°C dividido por 24 y únicamente contabilizando los valores negativos (se expresa finalmente en número absoluto dicho valor)
- GD_{20/20}C: grados día de calefacción con base 20/20 en forma mensual. Suma mensual del valor horario de la temperatura seca con respecto a 20°C dividido por 24 y únicamente contabilizando los valores negativos
- GD_{20/20}R: grados día de refrigeración con base 20/20 en forma mensual. Suma mensual del valor horario de la temperatura seca con respecto a 20°C dividido por 24 y únicamente contabilizando los valores positivos

A la vista de todos los datos anteriores, en el invierno, para un nivel percentil del 99,6%:

- Temperatura seca: 0,8°C

En el verano, para un percentil del 0,4%:

- Temperatura seca: 36°C

1.5.2. CÁLCULO DE LA TRANSMITANCIA TÉRMICA DE LOS CERRAMIENTOS

1.5.2.1. ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA

La provincia de Jaén pertenece a la zona climática C4, según el CTE. En dicho documento se explica que la zona climática de cualquier localidad en la que se ubiquen los edificios se obtiene de la tabla siguiente, en función de la diferencia de altura que exista entre dicha localidad y la altura de referencia de la capital de provincia. Si la diferencia de altura fuese menor de 200 metros o la localidad se encontrase a una altura inferior que la de referencia, se tomará, para dicha localidad, la misma zona climática que la que corresponde a la capital de provincia.

La población de Linares tiene una altitud de 419 msnm (según el Instituto de Estadística de Andalucía), con lo cual es de aplicación la zona climática C4.



Capital de Provincia	Capital	Altura de referencia (m)	Desnivel entre la localidad y la capital de su provincia (m)				
			≥200 <400	≥400 <600	≥600 <800	≥800 <1000	≥1000
Albacete	D3	677	D2	E1	E1	E1	E1
Alicante	B4	7	C3	C1	D1	D1	E1
Almería	A4	0	B3	B3	C1	C1	D1
Ávila	E1	1054	E1	E1	E1	E1	E1
Badajoz	C4	168	C3	D1	D1	E1	E1
Barcelona	C2	1	C1	D1	D1	E1	E1
Bilbao	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Burgos	E1	861	E1	E1	E1	E1	E1
Cáceres	C4	385	D3	D1	E1	E1	E1
Cádiz	A3	0	B3	B3	C1	C1	D1
Castellón de la Plana	B3	18	C2	C1	D1	D1	E1
Ceuta	B3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Ciudad real	D3	630	D2	E1	E1	E1	E1
Córdoba	B4	113	C3	C2	D1	D1	E1
Coruña (a)	C1	0	C1	D1	D1	E1	E1
Cuenca	D2	975	E1	E1	E1	E1	E1
Donostia-San Sebastián	C1	5	D1	D1	E1	E1	E1
Girona	C2	143	D1	D1	E1	E1	E1
Granada	C3	754	D2	D1	E1	E1	E1
Guadalajara	D3	708	D1	E1	E1	E1	E1
Huelva	B4	50	B3	C1	C1	D1	D1
Huesca	D2	432	E1	E1	E1	E1	E1
Jaén	C4	436	C3	D2	D1	E1	E1
León	E1	346	E1	E1	E1	E1	E1
Lleida	D3	131	D2	E1	E1	E1	E1
Logroño	D2	379	D1	E1	E1	E1	E1
Lugo	D1	412	E1	E1	E1	E1	E1
Madrid	D3	589	D1	E1	E1	E1	E1
Málaga	A3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Melilla	A3	130	B3	B3	C1	C1	D1
Murcia	B3	25	C2	C1	D1	D1	E1
Ourense	C2	327	D1	E1	E1	E1	E1
Oviedo	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Palencia	D1	722	E1	E1	E1	E1	E1
Palma de Mallorca	B3	1	B3	C1	C1	D1	D1
Palmas de Gran Canaria (las)	A3	114	A3	A3	A3	B3	B3
Pamplona	D1	456	E1	E1	E1	E1	E1
Pontevedra	C1	77	C1	D1	D1	E1	E1
Salamanca	D2	770	E1	E1	E1	E1	E1
Santa Cruz de Tenerife	A3	0	A3	A3	A3	B3	B3
Santander	C1	1	C1	D1	D1	E1	E1
Segovia	D2	1013	E1	E1	E1	E1	E1
Sevilla	B4	9	B3	C2	C1	D1	E1
Soria	E1	984	E1	E1	E1	E1	E1
Tarragona	B3	1	C2	C1	D1	D1	E1
Teruel	D2	995	E1	E1	E1	E1	E1
Toledo	C4	445	D3	D2	E1	E1	E1
Valencia	B3	8	C2	C1	D1	D1	E1
Valladolid	D2	704	E1	E1	E1	E1	E1
Vitoria-Gasteiz	D1	512	E1	E1	E1	E1	E1
Zamora	D2	617	E1	E1	E1	E1	E1
Zaragoza	D3	207	D2	E1	E1	E1	E1

Tabla 4.- Zonas climáticas

1.5.2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS ESPACIOS

Todos los espacios de la vivienda se consideran habitables. Como espacio de carga interna alta se considerará el salón-comedor, siendo de carga interna baja el resto de recintos (dormitorios, cocina, baño).

1.5.2.3. DEFINICIÓN DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA Y CLASIFICACIÓN DE SUS COMPONENTES

Se definen los cerramientos que limitan espacios habitables con el ambiente exterior.

Cubiertas: cerramiento superior del edificio en contacto con el aire. No contiene lucernarios.

Suelo: cerramiento inferior en contacto con el terreno.

Fachadas: cerramientos exteriores, contabilizando el % de huecos.



El edificio a climatizar no está compuesto por ninguna medianería.

1.5.2.4. CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE LA DEMANDA

1.5.2.4.1. Cerramientos en contacto con el aire exterior

Según el apéndice E del Documento Básico HE1, del CTE, la transmitancia térmica U ($W/m^2 \cdot K$) viene dada por la siguiente expresión:

$$U = 1 / R_T \quad (Ec.5)$$

Siendo R_T la resistencia térmica total del componente constructivo ($m^2 \cdot K/W$).

La resistencia térmica total constituida por capas térmicamente homogéneas debe calcularse mediante la expresión:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (Ec.6)$$

Siendo:

$R_1, R_2, \dots, R_n$ las resistencias térmicas de cada capa del cerramiento. Se calculan con la expresión:

$$R_i = e / \lambda \quad (Ec.7)$$

Donde: “ e ” es el espesor de la capa (metros)

“ λ ” es la conductividad térmica del material que compone la capa ($W/m \cdot K$)

R_{si} y R_{se} las resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire interior y exterior respectivamente, tomadas de la tabla siguiente, de acuerdo con la posición del cerramiento, de la dirección del flujo de calor y su situación en el edificio.

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		Rse	Rsi
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente		0,04	0,17

Tabla 5.- Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en m^2K/W



Los datos de las conductividades térmicas y el cálculo de las transmitancias térmicas de los cerramientos han sido obtenidos mediante los programas informáticos CE3 y CE3X, herramientas informáticas promovidas por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, a través del IDAE, y por el Ministerio de Fomento, que permite obtener la certificación de eficiencia energética de un edificio existente.

1.5.2.4.1.1. Fachada

Capa	Espesor e (metros)	Conductividad λ (W/m·K)	Resistencia térmica R_i (m ² K/W)
Resistencia superficial exterior			0,04
½ pie LP 40<G<60	0,115	0,667	0,17
AT	0,04	0,03	1,33
Tabique LH 40<G<60	0,04	0,445	0,09
Enlucido yeso 1000<d<1300	0,02	0,570	0,04
Resistencia superficial inferior			0,13
Resistencia total			1,80
Transmitancia térmica Total (W/m²·K)			0,56

Tabla 6.- Cálculo de la transmitancia de la fachada

1.5.2.4.1.2. Cubierta

Capa	Espesor e (metros)	Conductividad λ (W/m·K)	Resistencia térmica R_i (m ² K/W)
Resistencia superficial exterior			0,04
Teja arcilla cocida	0,02	1,00	0,02
Tablero contrachapado 700<d<900	0,04	0,24	0,17
Poliestireno extruido	0,06	0,033	1,82
FU Entrevigado cerámico (canto 250 mm)	0,25	0,908	0,28
Enlucido yeso 1000<d<1300	0,02	0,57	0,04
Resistencia superficial inferior			0,10
Resistencia total			2,47
Transmitancia térmica Total (W/m²·K)			0,40

Tabla 7.- Cálculo de la transmitancia de la cubierta



1.5.2.4.1.3. Huecos

En este apartado se considera la parte semitransparente constituida por los huecos en la fachada. El hueco se considera uno de los elementos más débiles desde el punto de vista del aislamiento térmico. La transmitancia térmica del hueco es directamente proporcional a las propiedades de los materiales y a la participación de los marcos y vidrios en el conjunto de la superficie del hueco.

Así el CTE propone para su cálculo la siguiente fórmula:

$$U_H = (1-FM) \cdot U_{H,V} + FM \cdot U_{H,M} \quad (Ec.8)$$

Siendo:

$U_{H,V}$ la transmitancia térmica de la parte semitransparente (W/m^2K)

$U_{H,M}$ la transmitancia térmica del marco de la ventana (W/m^2K)

FM la fracción del hueco ocupada por el marco

En nuestro caso, las ventanas están construidas por una unidad de vidrio aislante (UVA), conocido anteriormente como doble acristalamiento o vidrio de cámara, siendo un conjunto formado por dos láminas de vidrio monolítico separadas entre sí por un espaciador herméticamente cerrado a lo largo de todo el perímetro. Su composición es 4-6-4 (esta nomenclatura indica los espesores vidrio-cámara-vidrio expresados en milímetros, comenzando por el vidrio exterior). Los marcos están fabricados en PVC y el área ocupada por los mismos corresponde al 30% de la superficie total.

Capa	Transmitancia térmica ($W/m^2 \cdot K$)
Unidad de vidrio aislante 4-6-4	3,3
Marco PVC (30%)	1,8
Transmitancia térmica Total ($W/m^2 \cdot K$) (según Ec.8)	2,85

Tabla 8.- Cálculo de la transmitancia de los huecos

1.5.2.4.2. Cerramientos en contacto con el terreno

La vivienda a climatizar se encuentra en contacto con el terreno directamente.



Capa	Espesor e (metros)	Conductividad λ ($W/m \cdot K$)	Resistencia térmica R_i ($m^2 K/W$)
Piedra artificial	0,02	1,3	0,02
Mortero cemento para albañilería para revoco / enlucido	0,30	1,8	0,17
Poliestiereno expandido, tipo IV	0,04	0,034	1,18
FU Entrevigado cerámico (canto 250 mm)	0,25	0,908	0,28
Resistencia total			1,65
Transmitancia térmica Total ($W/m^2 \cdot K$)			0,61

Tabla 9.- Cálculo de la transmitancia del suelo en contacto con el terreno

1.5.2.4.3. Particiones interiores

Todas las particiones interiores verticales limitan entre sí con zonas habitables que están a la misma temperatura, por lo que su cálculo no influye en las cargas térmicas de la vivienda.

1.5.2.5. LIMITACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

Para la correcta aplicación en la limitación de la demanda energética utilizamos el procedimiento descrito en el DB HE1 del CTE denominado opción simplificada, para el cual se deben cumplir simultáneamente las condiciones siguientes:

- que la superficie de huecos en cada fachada sea inferior al 60% de su superficie
- que la superficie de lucernarios sea inferior al 5% de la superficie total de la cubierta

En primer lugar, para evitar descompensaciones entre la calidad térmica de diferentes espacios, cada uno de los cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica tendrán una transmitancia no superior a los valores indicados en la siguiente tabla, en función de la zona climática en la que se ubique el edificio. Según lo establecido en el apéndice D del DB HE1 del CTE, la vivienda estudiada se encuentra en la zona climática C4.



Cerramientos y particiones interiores	ZONAS A	ZONAS B	ZONAS C	ZONAS D	ZONAS E
Muros de fachada, <i>particiones interiores</i> en contacto con espacios <i>no habitables</i> , primer metro del perímetro de suelos apoyados sobre el terreno ⁽¹⁾ y primer metro de muros en contacto con el terreno	1,22	1,07	0,95	0,86	0,74
Suelos ⁽²⁾	0,69	0,68	0,65	0,64	0,62
Cubiertas ⁽³⁾	0,65	0,59	0,53	0,49	0,46
Vidrios y marcos	5,70	5,70	4,40	3,50	3,10
Medianerías	1,22	1,07	1,00	1,00	1,00

⁽¹⁾ Se incluyen las losas o soleras enterradas a una profundidad no mayor de 0,5 m

⁽²⁾ Las particiones interiores en contacto con espacios no habitables, como en el caso de cámaras sanitarias, se consideran como suelos

⁽³⁾ Las particiones interiores en contacto con espacios no habitables, como en el caso de desvanes no habitables, se consideran como cubiertas

Tabla 10.- Transmitancia térmica máxima de cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica U (W/m^2K)

Podemos justificar el cumplimiento de lo descrito en la CTE mediante la siguiente tabla:

Cerramiento	Valor de la transmitancia ($W/m^2 \cdot K$)	Valor límite de la transmitancia ($W/m^2 \cdot K$)
Fachada	0,56	0,95
Cubierta	0,40	0,53
Suelo (contacto con terreno)	0,61	0,95
Vidrios y marcos	2,85	4,4

Tabla 11.- Justificación del cumplimiento de las exigencias del CTE para los cerramientos

En segundo lugar, realizamos el cálculo de la media de los distintos parámetros característicos para la zona con baja carga interna y la zona de alta carga interna de la vivienda y comprobaremos que dichos parámetros son inferiores a los valores límite de la tabla 13.



En el caso de la vivienda que se está estudiando, los valores medios de los parámetros característicos son los mismos que los valores de las transmitancias térmicas de los cerramientos.

El porcentaje de huecos lo calculamos con los datos siguientes:

Orientación	Superficie Fachada (m ²)	Superficie Huecos (m ²)	% Huecos
Norte	33,60	6	18
Este	64,40	3	5
Sur	33,60	9,5	28
Oeste	64,40	3	5
TOTAL	196 m²	21,5 m²	11 %

Tabla 12.- Huecos existentes en la fachada del edificio

Sabiendo que el edificio a climatizar se encuentra en la zona C4, y conociendo el % de huecos en el total de las fachadas, es necesario atender a lo que establece el CTE en cuanto a valores límites de los parámetros característicos medios.

ZONA CLIMÁTICA C4

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno $U_{Mlim}: 0,73 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
 Transmitancia límite de suelos $U_{Slim}: 0,50 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
 Transmitancia límite de cubiertas $U_{Clim}: 0,41 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
 Factor solar modificado límite de lucernarios $F_{Lim}: 0,27$

% de superficie de huecos	Transmitancia límite de huecos ¹ - $U_{Hlim} \text{ W/m}^2 \text{ K}$				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}					
	N	E/O	S	SE/SO	Carga interna baja			Carga interna alta		
					E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	4,4	4,4	4,4	4,4	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,4 (4,2)	3,9 (4,4)	4,4	4,4	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,9 (3,3)	3,3 (3,8)	4,3 (4,4)	4,3 (4,4)	-	-	-	0,54	-	0,56
de 31 a 40	2,6 (2,9)	3,0 (3,3)	3,9 (4,1)	3,9 (4,1)	0,54	-	0,56	0,41	0,57	0,43
de 41 a 50	2,4 (2,6)	2,8 (3,0)	3,6 (3,8)	3,6 (3,8)	0,47	-	0,46	0,34	0,47	0,35
de 51 a 60	2,2 (2,4)	2,7 (2,8)	3,5 (3,6)	3,5 (3,6)	0,38	0,53	0,39	0,29	0,40	0,30

Tabla 13.- Valores límite de los parámetros característicos medios (zona climática C4)

Se resume en la siguiente tabla la justificación de cumplimiento con lo exigible por el CTE:



Cerramiento	Valor de la transmitancia ($W/m^2 \cdot K$)	Valor límite de la transmitancia ($W/m^2 \cdot K$)
Fachada	0,56	0,73
Cubierta	0,40	0,41
Suelo (contacto con terreno)	0,61	0,73
Huecos (orientación este)	2,85	3,9
Huecos (orientación sur)	2,85	4,4
Huecos (orientación oeste)	2,85	3,9

Tabla 14.- Justificación del cumplimiento de las exigencias del CTE para los valores medios de los cerramientos

En el apartado de anexos se puede observar las fichas justificativas de la opción simplificada, que resume lo aquí descrito.

1.5.3. CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS

Para llevar a cabo el cálculo de cargas térmicas, se debe diferenciar entre el periodo que comprende el verano (refrigeración) y el que comprende el invierno (calefacción). Es necesario realizar esta separación debido a que en invierno unas cargas son favorables, mientras que en verano son desfavorables. Una carga desfavorable implica que hay que suplirla con potencia calorífica en invierno y potencia frigorífica en verano. Sin embargo, una carga favorable hará que el aporte de energía para climatizar el edificio sea menor.

Se han tomado en cuenta dos tipos de cargas térmicas, las exteriores (transmisión, renovación e infiltración) y las interiores (calor de las personas y equipos).

- Transmisión: es la debida a la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior. La conductividad de los muros, suelos cubiertas y demás cerramientos hace que pase calor de un lado al otro. En verano, la carga de transmisión es desfavorable, porque en el exterior existe una temperatura mayor de la que se quiere tener en el interior del local, que hace que entre



calor a través de los cerramientos. Ocurre lo mismo en invierno, también se trata de una carga desfavorable porque en el exterior existe una temperatura menor de la que se quiere tener en el interior, y por ello el calor se escapa del interior a través de los cerramientos.

- Renovación: es la debida al cambio del volumen de aire interior con el exterior a través de los conductos de ventilación del edificio. El nuevo volumen de aire entra en las condiciones del ambiente exterior, lo que supone un estado desfavorable tanto en verano, como en invierno.
- Infiltración: es la debida a la entrada o escape de una porción del aire a través de los pequeños huecos que puedan existir entre las ventanas y puertas de los cerramientos. De nuevo es una carga desfavorable en verano e invierno.
- Calor de las personas: es el debido al que desprende un ser humano en su actividad diaria. Según el tipo de ropa que vista o la cantidad de ella, y del tipo de actividad que se desarrolle en el local a climatizar, una persona desprenderá más o menos calor. Se trata de una carga desfavorable en verano y favorable en invierno.
- Equipos: es la debida al calor que desprenden los equipos eléctricos en su funcionamiento, así como la iluminación artificial de cada uno de los espacios del edificio a climatizar. Como en el caso anterior es desfavorable en verano y favorable en invierno.

Para calcular las cargas térmicas se ha utilizado un método basado en balances energéticos, por el que unas cargas térmicas son ganancias o pérdidas en función del periodo estacional en el que se encuentre, debido a la dirección que toma el flujo de calor.

1.5.3.1. CARGA TÉRMICA DE CALEFACCIÓN EN INVIERNO

El cálculo de la carga térmica de calefacción en invierno se realiza mediante la expresión:

$$Q_{TCE} = Q_{Transmisión} + Q_{Renovación} + Q_{Infiltración} - Q_{personas} - Q_{equipos} \quad (Ec.9)$$

Siendo:

$$i) \quad Q_{Transmisión} = \sum U_i \cdot A_i \cdot (T_{int} - T_{ext}) \quad (Ec.10)$$



Donde

- U_i es la transmitancia térmica del cerramiento “i” ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$)
- A_i es la superficie del cerramiento “i” en contacto con el exterior (m^2)
- T_{int} es la temperatura interior de la vivienda en invierno (22°C)
- T_{ext} es la temperatura del ambiente exterior en invierno ($0,8^\circ\text{C}$)

Para la vivienda objeto de estudio resulta:

$$Q_{\text{transmisión}} = 5.317,49 \text{ W}$$

$$\text{ii)} \quad Q_{\text{renovación}} = m \cdot C_{p_{\text{aire}}} \cdot (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}) \quad (\text{Ec.11})$$

Donde

- m es el caudal volumétrico del aire de renovación (kg/s); se calcula como el volumen del aire del edificio renovado cada hora, siendo la densidad del aire de $1,18 \text{ kg/m}^3$ (superficie x altura x densidad / 3600 segundos)
- $C_{p_{\text{aire}}}$ es el calor específico del aire ($C_{p_{\text{aire}}} = 1000 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$)
- T_{int} es la temperatura interior de la vivienda en invierno (22°C)
- T_{ext} es la temperatura del ambiente exterior en invierno ($0,8^\circ\text{C}$)

Para la vivienda objeto de estudio resulta:

$$Q_{\text{renovación}} = 2.354,28 \text{ W}$$

$$\text{iii)} \quad Q_{\text{infiltración}} = m \cdot C_{p_{\text{aire}}} \cdot (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}) \quad (\text{Ec.12})$$

Donde

- m es el caudal volumétrico del aire de infiltración (kg/s), que se estima en un 25% del caudal volumétrico del aire de renovación
- $C_{p_{\text{aire}}}$ es el calor específico del aire ($C_{p_{\text{aire}}} = 1000 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$)
- T_{int} es la temperatura interior de la vivienda en invierno (22°C)
- T_{ext} es la temperatura del ambiente exterior en invierno ($0,8^\circ\text{C}$)

Para la vivienda objeto de estudio resulta:

$$Q_{\text{infiltración}} = 588,57 \text{ W}$$

$$\text{iv)} \quad Q_{\text{personas}} = n^{\circ} \text{ personas} \cdot q_{1\text{persona}} \quad (\text{Ec.13})$$

Donde



- $q_{1\text{persona}}$ es el calor que desprende una persona ($\sim 100 \text{ W/persona}$)

Para la vivienda objeto de estudio resulta:

$$Q_{\text{personas}} = 500,00 \text{ W}$$

$$v) \quad Q_{\text{equipos}} = \sum n^{\circ} \text{ equipo}_i \cdot \text{Pot}_i + \sum S_{\text{ilum}} \cdot \text{Pot}_{\text{ilum}} \quad (\text{Ec.14})$$

Donde

- $n^{\circ} \text{ equipo}_i$ es el número de equipos iguales
- Pot_i es la potencia del equipo i (vatios)
- S_{ilum} es la superficie iluminada (m^2)
- Pot_{ilum} es la potencia de iluminación de un espacio (W/m^2)

Se considera que los equipos y electrodomésticos no funcionarán todos a la vez, por lo que se aplicará un coeficiente de simultaneidad del 0,75.

La potencia de iluminación media considerada corresponde a 10 W/m^2 . En el caso de equipos, consideramos 3.000 W como potencia unitaria correspondiente a la cocina-comedor.

Para la vivienda objeto de estudio resulta:

$$Q_{\text{equipos}} = 3.157,50 \text{ W}$$

En la siguiente tabla se puede ver el resumen del cálculo de cargas térmicas para calefacción, desglosando cada uno de los términos que influyen en su cálculo:

CARGAS TÉRMICAS PARA CALEFACCIÓN EN INVIERNO				
Condiciones de cálculo			Mediciones	
Temperatura interior, T_{int} ($^{\circ}\text{C}$)	Temperatura exterior (T_{ext})	Diferencia ΔT	Superficie total útil (m^2)	Altura libre (m)
22	0,8	21,2	114,50	2,8
TRANSMISIÓN	Superficie cerramiento (m^2)	Transmitancia térmica ($\text{W/m}^2\text{K}$)	ΔT	Carga de calefacción (vatios)
Fachada	196	0,56	21,2	2.326,91
Cubierta	79	0,40	21,2	669,92
Suelo	79	0,61	21,2	1.021,63
Vidrios	21,5	2,85	21,2	1.299,03



i) Total transmisión con el ambiente exterior				5.317,49 (5,31 KW)
RENOVACIÓN	Caudal volumétrico de aire (Kg/s)	Capacidad calorífica del aire (W/kgK)	ΔT	Carga de calefacción (vatios)
Una renovación por hora	0,111	1.000	21,2	2.354,28
ii) Total renovación del aire				2.354,28 (2,35 KW)
INFILTRACIÓN	Caudal volumétrico de aire (Kg/s)	Capacidad calorífica del aire (W/kgK)	ΔT	Carga de calefacción (vatios)
Una renovación por hora	0,055	1.000	21,2	588,57
iii) Total infiltraciones				588,57 (0,58 KW)
PERSONAS	Nº Personas	Calor sensible por persona (W)		Carga de calefacción (vatios)
Personas	5	100		500
iv) Total carga térmica calor personas				500 (0,50 KW)
EQUIPOS E ILUMINACIÓN	Nº Aparatos	Potencia Unitaria (W)	Superficie iluminada (m ²)	Carga de calefacción (vatios)
Iluminación baja		10	121	1.210,00
Cocina-comedor		3.000		3.000
Coeficiente de simultaneidad				0,75
v) Total carga equipos e iluminación				3.157,50 (3,15 KW)
CARGA TÉRMICA TOTAL CALEFACCIÓN EN INVIERNO (i + ii + iii – iv – v)				4,59 KW

Tabla 15.- Cálculo de la carga térmica total para calefacción en invierno



1.5.3.2. CARGA TÉRMICA DE REFRIGERACIÓN EN VERANO

El cálculo de la carga térmica de calefacción en invierno se realiza mediante la expresión:

$$Q_{TCE} = Q_{Transmisión} + Q_{Renovación} + Q_{Infiltración} + Q_{personas} + Q_{equipos} \quad (Ec.15)$$

Siendo:

$$i) \quad Q_{Transmisión} = \sum U_i \cdot A_i \cdot (T_{ext} - T_{int}) \quad (Ec.16)$$

Donde

- U_i es la transmitancia térmica del cerramiento “i” ($W/m^2 \cdot K$)
- A_i es la superficie del cerramiento “i” en contacto con el exterior (m^2)
- T_{int} es la temperatura interior de la vivienda en verano ($24^\circ C$)
- T_{ext} es la temperatura del ambiente exterior en verano ($36^\circ C$)

Para la vivienda objeto de estudio resulta:

$$Q_{transmisión} = 3.009,90 \text{ W}$$

$$ii) \quad Q_{renovación} = m \cdot C_{p_{aire}} \cdot (T_{int} - T_{ext}) \quad (Ec.17)$$

Donde

- m es el caudal volumétrico del aire de renovación (kg/s); se calcula como el volumen del aire del edificio renovado cada hora, siendo la densidad del aire de $1,18 \text{ kg/m}^3$ (superficie x altura x densidad / 3600 segundos)
- $C_{p_{aire}}$ es el calor específico del aire ($C_{p_{aire}} = 1000 \text{ J/kg} \cdot K$)
- T_{int} es la temperatura interior de la vivienda en verano ($24^\circ C$)
- T_{ext} es la temperatura del ambiente exterior en verano ($36^\circ C$)

Para la vivienda objeto de estudio resulta:

$$Q_{renovación} = 1.332,61 \text{ W}$$

$$iii) \quad Q_{infiltración} = m \cdot C_{p_{aire}} \cdot (T_{int} - T_{ext}) \quad (Ec.18)$$

Donde

- m es el caudal volumétrico del aire de infiltración (kg/s), que se estima en un 25% del caudal volumétrico del aire de renovación
- $C_{p_{aire}}$ es el calor específico del aire ($C_{p_{aire}} = 1000 \text{ J/kg} \cdot K$)



- T_{int} es la temperatura interior de la vivienda en verano (24°C)
- T_{ext} es la temperatura del ambiente exterior en verano (36°C)

Para la vivienda objeto de estudio resulta:

$$Q_{\text{infiltración}} = 333,15 \text{ W}$$

$$\text{iv)} \quad Q_{\text{personas}} = n^{\circ} \text{ personas} \cdot q_{1\text{persona}} \quad (\text{Ec.19})$$

Donde

- $q_{1\text{persona}}$ es el calor que desprende una persona ($\sim 100 \text{ W/persona}$)

Para la vivienda objeto de estudio resulta:

$$Q_{\text{personas}} = 500,00 \text{ W}$$

$$\text{v)} \quad Q_{\text{equipos}} = \sum n^{\circ} \text{ equipo}_i \cdot \text{Pot}_i + \sum S_{\text{ilum}} \cdot \text{Pot}_{\text{ilum}} \quad (\text{Ec.20})$$

Donde

- $n^{\circ} \text{ equipo}_i$ es el número de equipos iguales
- Pot_i es la potencia del equipo i (vatios)
- S_{ilum} es la superficie iluminada (m^2)
- Pot_{ilum} es la potencia de iluminación de un espacio (W/m^2)

Se considera que los equipos y electrodomésticos no funcionarán todos a la vez, por lo que se aplicará un coeficiente de simultaneidad del 0,75.

La potencia de iluminación media considerada corresponde a 10 W/m^2 . En el caso de equipos, consideramos 3.000 W como potencia unitaria correspondiente a la cocina-comedor.

Para la vivienda objeto de estudio resulta:

$$Q_{\text{equipos}} = 3.157,50 \text{ W}$$

En la siguiente tabla se puede ver el resumen del cálculo de cargas térmicas para refrigeración, desglosando cada uno de los términos que influyen en su cálculo:



CARGAS TÉRMICAS PARA REFRIGERACIÓN EN VERANO				
Condiciones de cálculo			Mediciones	
Temperatura interior, T_{int} (°C)	Temperatura exterior (T_{ext})	Diferencia ΔT	Superficie total útil (m^2)	Altura libre (m)
24	36	12	114,50	2,8
TRANSMISIÓN	Superficie cerramiento (m^2)	Transmitancia térmica (W/m^2K)	ΔT	Carga de calefacción (vatios)
Fachada	196	0,56	12	1.317,12
Cubierta	79	0,40	12	379,20
Suelo	79	0,61	12	578,28
Vidrios	21,5	2,85	12	735,30
i) Total transmisión con el ambiente exterior				3.009,90 (3,00 KW)
RENOVACIÓN	Caudal volumétrico de aire (Kg/s)	Capacidad calorífica del aire (W/kgK)	ΔT	Carga de calefacción (vatios)
Una renovación por hora	0,111	1.000	12	1.332,61
ii) Total renovación del aire				1.332,61 (1,33 KW)
INFILTRACIÓN	Caudal volumétrico de aire (Kg/s)	Capacidad calorífica del aire (W/kgK)	ΔT	Carga de calefacción (vatios)
Una renovación por hora	0,055	1.000	12	333,15
iii) Total infiltraciones				333,15 (0,33 KW)
PERSONAS	Nº Personas	Calor sensible por persona (W)		Carga de calefacción (vatios)
Personas	5	100		500



iv) Total carga térmica calor personas				500 (0,50 KW)
EQUIPOS E ILUMINACIÓN	Nº Aparatos	Potencia Unitaria (W)	Superficie iluminada (m ²)	Carga de calefacción (vatios)
Iluminación baja		10	121	1.210,00
Cocina-comedor		3.000		3.000
Coeficiente de simultaneidad				0,75
v) Total carga equipos e iluminación				3.157,50 (3,15 KW)
CARGA TÉRMICA TOTAL REFRIGERACIÓN EN VERANO (i + ii + iii + iv + v)				8,31 KW

Tabla 16.- Cálculo de la carga térmica total para refrigeración en verano

1.5.4. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN

El sistema de climatización seleccionado debe ser capaz de abastecer la demanda de energía que se produce en la vivienda tanto en verano como en invierno.

1.5.4.1. DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR GEOTÉRMICO

En el diseño de los intercambiadores de calor enterrados intervienen múltiples factores que hacen factibles distintas variantes de diseño para un mismo sistema.

El procedimiento de diseño a seguir es el que se desarrolla en la Guía técnica de diseño de sistemas de bomba de calor geotérmica (Instituto para la diversificación y el Ahorro de la Energía, IDAE).

En este proyecto se desarrolla la metodología de diseño de la International Ground Surface Heat Pump Association (IGSHPA).

La metodología aplicada está basada en la teoría de la fuente de calor de línea infinita (Kelvin Line Source Theory) desarrollada por Ingersoll y Plass. Establece que un intercambiador de calor que cede calor al suelo se comporta como una fuente de calor con un espesor pequeño y longitud infinita, y por tanto solo cede calor en sentido radial.

Se trata de un método de cálculo que asume que el sistema funciona durante un tiempo determinado a una carga constante y con el suelo a la temperatura más



desfavorable. Esto es, que se diseñará para la temperatura más desfavorable en el mes de enero para calefacción y en el mes de julio para refrigeración. Durante el resto del año, la temperatura es más moderada y por tanto la carga calorífica o frigorífica es menor, haciendo que el sistema funcione con un rendimiento mayor. Además el suelo no estará tan frío (en invierno) o tan caliente (en verano), lo que hará que la temperatura del agua sea más moderada y el sistema funcionará con un mayor rendimiento.

En primer lugar, se debe seleccionar la bomba de calor que satisfaga las especificaciones térmicas del edificio a acondicionar, en función de las cargas térmicas calculadas de acuerdo con las exigencias de diseño y dimensionado especificadas en el Reglamento de Instalaciones Térmicas (RITE).

En segundo lugar, es importante decidir el fluido circulante por el intercambiador de calor enterrado. Normalmente se trata de agua o agua con anticongelante, en el caso de previsión de riesgo de congelación.

Tras esto, es necesario escoger la configuración a emplear. Las más comunes son horizontal, vertical o Slinky, y dentro de ellas son tubos simples dobles, coaxiales, etcétera.

Una vez conocida la disposición a implantar es necesario realizar la elección de los tubos. Para ello se determinará el material del que están contruidos, su diámetro, y las temperaturas entre las que tiene que trabajar.

Por último, se dimensionará el intercambiador de calor enterrado en forma de sondas atendiendo a todos los criterios anteriormente determinados, finalizando con la elección del sistema, entre los fabricantes disponibles, que más se ajuste a las necesidades del proyecto.

1.5.4.1.1. Bomba de calor geotérmica

Las especificaciones de la bomba de calor fijan varios parámetros de diseño del intercambiador de calor enterrado, ya que nos determinan el calor intercambiado con el suelo y el caudal circulante por el intercambiador de calor, además de fijar el rendimiento del sistema (Coefficient of Performance COP y Energy Efficiency Ratio EER) de acuerdo con sus curvas características de potencia-temperatura.



1.5.4.1.1.1. Selección

Existen numerosas empresas que se dedican a fabricar bombas de calor, pero entre las más importantes se puede encontrar IDM-ENERTRES, GRUPO CIAT, THERMIA, DANFOSS, SEDICAL, AVENIR ENERGIE, FERROLI, etcétera.

Los datos de partida para la selección de la bomba de calor geotérmica son las cargas térmicas de calefacción y refrigeración calculadas anteriormente de acuerdo a las exigencias de diseño y dimensionado especificadas en el Reglamento de Instalaciones Térmicas. La potencia teórica de la bomba para cubrir la climatización vendrá dada por la mayor de las demandas, dado que la potencia instalada deberá cubrir las necesidades térmicas de ambos escenarios. Por tanto, ésta vendrá dada por la previsión de demanda térmica en los meses de verano, con un valor de 8,31 kW.

Se requerirá aplicar un factor de seguridad de sobredimensionamiento de la potencia teórica a modo de gap, de manera que exista un colchón de potencia en los puntos de máxima demanda. Este sobredimensionamiento será de un 10% aproximadamente.

Se desea encontrar una bomba de calor agua-agua que pueda trabajar tanto en modo calefacción como en modo refrigeración.

A partir de estas cargas y el catálogo del fabricante de bombas geotérmicas CIAT se selecciona el modelo Ageo + 40 H.

Las características son las siguientes:

	Ageo + 40 H
Potencia frigorífica (kW)	9,2
Potencia calorífica (kW)	11,5
Potencia absorbida (kW)	2,3

Tabla 17.- Características principales de la bomba de calor escogida para
Temperatura agua caliente de 30/35°C y Temperatura de agua fría de 7/12°C.

1.5.4.1.1.2. Rendimiento

El rendimiento de la bomba geotérmica se define como lo que se quiere obtener dividido entre lo que se tiene que entregar a cambio para conseguirlo. De este modo, se definen los siguientes parámetros de operación que caracterizan a las mismas; el primero es el coeficiente de operación o rendimiento (COP) que caracteriza a la bomba



cuando trabaja en modo de calentamiento. En este caso interesa cuánto calor se transmite al local en relación al trabajo que eso cuesta:

$$\text{COP} = Q / W = T_C / (T_C - T_E) \quad (\text{Ec.21})$$

Como se puede observar, el rendimiento de la máquina sube cuanto más pequeño sea ($T_C - T_E$), es decir, cuanto más alta sea la temperatura del terreno y cuanto más baja sea la temperatura que se quiere mantener en el ambiente a calentar. El COP de una bomba de calor es mayor que la unidad.

En nuestro caso:

$$\text{COP} = Q / W = 5 \quad (\text{Ec.22})$$

Si la máquina invierte su ciclo y trabaja en modo refrigeración, extrayendo un calor Q en el evaporador del recinto a una temperatura T_E e inyectando un calor Q por medio del condensador al terreno a temperatura T_C , se define el parámetro de rendimiento, que en este caso, se denomina coeficiente de eficiencia energética (EER). En este caso, interesa cuánto calor se extrae en relación al trabajo que eso cuesta:

$$\text{EER} = Q / W = T_E (T_C - T_E) \quad (\text{Ec.23})$$

El EER de una bomba de calor geotérmica es también mayor que la unidad. En nuestro caso:

$$\text{EER} = Q / W = 4 \quad (\text{Ec.24})$$

1.5.4.1.2. Elección del fluido circulante

El fluido circulante por el intercambiador de calor enterrado es agua o agua con anticongelante, si se prevé en diseño que el intercambiador geotérmico puede tener riesgo de congelación (elevado funcionamiento en calefacción, temperaturas frías de terreno, etc.). La elección del fluido dependerá de distintos factores:

- 1 Características de transferencia de calor (conductividad térmica y viscosidad)
- 2 Punto de congelación
- 3 Requerimientos de presión y caídas de presión por rozamiento
- 4 Corrosividad, toxicidad e inflamabilidad
- 5 Coste

En la siguiente tabla se muestran las propiedades físicas de los fluidos más empleados:



	Agua	Etilenglicol	Propilenglicol	Metanol
Densidad a 20 °C (g/cm³)	1	0,9259	0,8630	0,6585
Punto congelación °C (30% volumen)	0	-13	-12	-26
Punto ebullición °C	100	197	187	64
Calor Específico a 15 °C (kJ/Kg.K)	4,187	2,185	2,50371	2,47021
Viscosidad a 0 °C (Pa.s) ·10 ⁻³	1,79	57,4	243	0,87
Viscosidad a 20 °C (Pa.s) ·10 ⁻³	1,01	20,9	60,5	0,60
Viscosidad a 40 °C (Pa.s) ·10 ⁻³	0,655	9,5	18,0	0,45
Conductividad térmica a 20 °C (kW/m.K) ·10 ⁻³	0,60	0,26	0,20	0,21

Tabla 18.- Propiedades físicas de los fluidos

Se ha decidido escoger como fluido portador agua con anticongelante Etilenglicol al 30% de volumen, cuyas propiedades son:

Composición: Agua 70% + Etilenglicol 30% (peso)

- Temperatura de congelación: -12,8 °C
- Temperatura de ebullición: 102 °C
- Densidad (20°C): 1046 kg/m³
- Calor específico (20°C): 3672 J/ Kg K
- Conductividad térmica (20°C): 0,48 W/m K
- Viscosidad dinámica μ (20°C): 0,001428 Kg/m s

1.5.4.1.3. Elección de la configuración

Se ha decidido intercambiar calor con el suelo mediante una configuración de tubos en vertical. Aunque se tiene espacio para poder poner una instalación horizontal, no se ha optado por esta opción debido a que la superficie a perforar sería muy extensa, y con ello muy costosa. Además, las fluctuaciones debidas a la radiación solar se notarían de forma más notable en las sondas geotérmicas, debido a la menor profundidad en la que se encuentran.

Por otro lado, en Europa es muy usual escoger sondas geotérmicas de doble U para intercambiar calor con el suelo, y es por ello que se decide seguir con los estándares europeos.

Para configuraciones de tipo vertical es necesario determinar la profundidad de la perforación. Respecto a la profundidad de las perforaciones es necesario realizar un análisis más detallado en función de los materiales de los tubos y otras características relevantes.



Es necesario escoger, de entre los diferentes fabricantes de sondas geotérmicas aquél que cumpla mejor las expectativas de diseño del proyecto.

1.5.4.1.4. Elección de los tubos

El material del que se suelen fabricar este tipo de tubos es el polietileno (PE) o polibutileno (PB), porque son flexibles, resistentes y permiten la unión de varios tramos mediante fusión por calor para formar empalmes fuertes y duraderos. Se emplearán tubos hechos de polietileno reticulado de altas prestaciones, óptimos para perforaciones de hasta 150 metros de profundidad.

Se debe seleccionar un diámetro de los tubos que, por un lado, sea lo suficientemente grande para producir una pérdida de carga pequeña y así necesitar menor potencia de bombeo, y por otro, debe ser lo suficientemente pequeño para asegurar altas velocidades de circulación en el interior de los tubos. Esto debe ser así porque, para que el intercambio de calor se produzca de forma óptima, el flujo debe encontrarse en fase turbulenta y no en fase laminar, y eso solo se consigue con altas velocidades de circulación del fluido. La condición que asegura la turbulencia es que el número de Reynolds sea superior a 2300:

$$Re = 4 \cdot Q / \pi \cdot \vartheta \cdot D > 2300 \quad (Ec.25)$$

donde :

Q es el caudal en m^3/s que circula por los tubos (1,9-2 m^3/h valor nominal)

ϑ es la viscosidad cinemática en m^2/s , es el resultado de dividir la viscosidad dinámica (Pa·s) entre la densidad en kg/m^3 . Su valor, calculado a partir de las propiedades del fluido circulante, es $1,365 \cdot 10^{-6} m^2/s$.

D es el diámetro de los tubos a determinar

Se ha de buscar entre los fabricantes unos tubos que cumplan con las especificaciones. De entre todos ellos se ha decidido escoger el fabricante REHAU, por tener una amplia gama en sus productos, y gran variedad de soluciones. Entre los productos que ofrece se encuentran unas sondas geotérmicas para disposiciones verticales, en doble U con la siguiente geometría:



Fig.2.- Detalle del final de la sonda geotérmica escogida

La sonda elegida corresponde a RAUGEO PE-Xa; es una sonda en U doble, compuesta por dos sondas en U individuales cruzadas y unidas entre ellas. El pie curvado de la sonda está protegido adicionalmente con una resina de poliéster especial reforzado con fibra de vidrio.

En cuanto al diámetro, se decide escoger tubos de 32 mm de diámetro y 2,9 mm de espesor. El diámetro interno por el que circula el fluido es de 26,2 milímetros, que cumplen con el límite superior impuesto por el flujo turbulento en el interior. Con este diámetro se recalcula y se obtiene el siguiente número de Reynolds.

$$Re = \frac{4 \cdot 2m^3/h \cdot \frac{1h}{3600s}}{0,026m \cdot \pi \cdot 1,365 \cdot 10^{-6}m^2/s} = 62.615 > 2.300 \quad (Ec.26)$$

1.5.4.1.5. Dimensionamiento del intercambiador de calor enterrado

La guía técnica de diseño de sistemas de bomba de calor geotérmica, propone un método de cálculo de la longitud de las sondas geotérmicas basado en el análisis de temperaturas del fluido caloportador y del suelo, pues es debido a su diferencia que se produce transferencia de calor.

La longitud del intercambiador de calor enterrado se puede determinar para calefacción y refrigeración mediante las siguientes expresiones:

$$L_{calefacción} = \frac{Q_{calefacción} \cdot \frac{COP-1}{COP} \cdot (R_p + R_s \cdot f_{calefacción})}{T_L - T_{MIN}} \quad (Ec.27)$$



$$L_{\text{refrigeración}} = \frac{Q_{\text{refrigeración}} \cdot \frac{EER+1}{EER} \cdot (R_p + R_s \cdot f_{\text{refrigeración}})}{T_{\text{MAX}} - T_H} \quad (\text{Ec.28})$$

El cálculo de cada uno de los parámetros de los que depende se muestra en los siguientes apartados.

1.5.4.1.5.1. Temperaturas máximas y mínimas de la tierra

A partir de las ecuaciones siguientes es posible determinar la temperatura máxima (TH) y mínima (TL) que ocurren durante el ciclo anual para cualquier profundidad (X_s).

$$TL = TM - As \cdot e^{(-X_s \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot \alpha}})} \quad (\text{Ec.29})$$

$$TH = TM + As \cdot e^{(-X_s \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot \alpha}})} \quad (\text{Ec.30})$$

Donde As es la oscilación de la temperatura superficial y se puede asumir nulo para sistemas verticales, debido a que las fluctuaciones diarias de la temperatura con la profundidad dejan de apreciarse después de 8 metros.

Por tanto, la temperatura máxima y mínima del suelo son iguales y su valor es igual a la temperatura media de la tierra (TM), que se puede asumir como la temperatura seca media anual del lugar.

El dato ha sido obtenido de la tabla 3 (Estación Meteorológica de Jaén), obteniendo un valor medio de:

$$TL = TH = TM = 17,23 \text{ °C} \quad (\text{Ec.31})$$

1.5.4.1.5.2. Temperaturas máximas y mínimas de entrada del fluido a la bomba de calor

El fluido geotérmico intercambia calor en el evaporador en invierno (calefacción) y en el condensador en verano (refrigeración) debido a la diferencia de temperaturas que existe entre el fluido geotérmico y el fluido de la bomba de calor.



La bomba de calor escogida (Ageo+ 40HT, Grupo CIAT) trabaja con temperaturas en el evaporador en invierno entre 7°C y 12°C, mientras que en el condensador en verano trabaja entre 30°C y 35°C. Por tanto:

$$T_{MIN} = 7^{\circ}\text{C}$$

$$T_{MAX} = 35^{\circ}\text{C}$$

1.5.4.1.5.3. Diferencia de temperaturas entre el circuito y el suelo

Para los ciclos de calefacción, se calcula como:

$$T_L - T_{MIN} = 17,23 - 7 = 10,23^{\circ}\text{C} \quad (\text{Ec.32})$$

Para los ciclos de refrigeración se calcula como:

$$T_{MAX} - T_H = 35 - 17,23 = 17,77^{\circ}\text{C} \quad (\text{Ec.33})$$

1.5.4.1.5.4. Resistencia de los tubos al flujo de calor

Es posible calcular este parámetro a través de la siguiente expresión:

$$R_p = \frac{1}{2 \pi K_p} \cdot \ln\left(\frac{D_{ext}}{D_{int}}\right) \quad (\text{Ec.34})$$

Donde:

D_{ext} es el diámetro exterior de los tubos

D_{int} es el diámetro interior de los tubos

$K_p = 0,43 \text{ W} / \text{m} \cdot \text{K}$ es la conductividad térmica del material de los tubos.

Por tanto:

$$R_p = 0,074 \text{ m} \cdot \text{K} / \text{W}$$

1.5.4.1.5.5. Resistencia de la tierra

La resistencia de la tierra (R_s) es la inversa de la conductividad térmica del terreno. Conociendo la composición del terreno de la zona se puede determinar su conductividad térmica.

La composición geológica del suelo se puede determinar realizando una excavación de profundidad mediante un test de respuesta geotérmico (TRG). Este estudio tan detallado conlleva un coste adicional elevado, y es posible determinar de forma aproximada este dato mediante otros métodos.



El instituto Geológico y Minero de España se dedica a estudiar cada palmo de suelo perteneciente al país. Pone a disposición del público unos mapas geológicos, ordenados por cuadrículas en zonas de toda la península e islas. El proyecto está ubicado en la población de Linares, por lo que le corresponde el mapa geológico número 905. De este mapa se ha determinado que el suelo en la zona donde se encuentra la vivienda corresponde principalmente a conglomerados, areniscas y arcillas. El mapa en versión reducida, así como una ampliación de la zona donde está ubicada la vivienda, y la composición del suelo se pueden consultar en el apartado de anexos.

De la guía técnica de diseño de sistemas de bomba de calor geotérmica, se extrae el dato de la conductividad térmica de dicho tipo de suelo. La siguiente tabla hace referencia a datos extraídos del libro “Geothermal energy and heat storage” de D.Paud del 2002:



Tipo de roca	Conductividad térmica (W/mK)			Capacidad térmica volumétrica
	Min.	Valor típico	Máx.	(MJ/m³K)
Rocas magmáticas				
Basalto	1,3	1,7	2,3	2,3-2,6
Diorita	2	2,6	2,9	2,9
Grabo	1,7	1,9	2,5	2,6
Granito	2,1	3,4	4,1	2,1-3,0
Peridotita	3,8	4	5,3	2,7
Riolita	3,1	3,3	3,4	2,1
Rocas metamórficas				
Gneis	1,9	2,9	4	1,8-2,4
Mármol	1,3	2,1	3,1	2
Metacuarcita		aprox. 5,8		2,1
Micasquistos	1,5	2	3,1	2,2
Esquistos arcillosos	1,5	2,1	2,1	2,2-2,5
Rocas sedimentarias				
Caliza	2,5	2,8	4	2,1-2,4
Marga	1,5	2,1	3,5	2,2-2,3
Cuarcita	3,6	6	6,6	2,1-2,2
Sal	5,3	5,4	6,4	1,2
Arenisca	1,3	2,3	5,1	1,6-2,8
Limolitas y argilitas	1,1	2,2	3,5	2,1-2,4
Rocas no consolidadas				
Grava, seca	0,4	0,4	0,5	1,4-1,6
Grava, saturada de agua		aprox. 1,8		aprox. 2,4
Arena, seca	0,3	0,4	0,8	1,3-1,6
Arena, saturada de agua	1,7	2,4	5	2,2-2,9
Arcilla/limo, seco	0,4	0,5	1	1,5-1,6
Arcilla/limo, saturado de agua	0,9	1,7	2,3	1,6-3,4
Turba	0,2	0,4	0,7	0,5-3,8
Otros materiales				
Bentonita	0,5	0,6	0,8	aprox. 3,9
Hormigón	0,9	1,6	2	aprox. 1,8
Hielo (-10°C)		2,32		1,87
Plástico (PE)		0,39		
Aire (0 - 20 °C, seco)		0,02		0,0012
Acero		60		3,12
Agua (+ 10 °C)		0,58		4,19

Tabla 19.- Valores de conductividad y capacidad térmica para distintos tipos de materiales

De los valores que aparecen en el recuadro tomamos un valor medio, obteniendo una conductividad media de $1,2 \text{ W} / \text{m} \cdot \text{K}$.

La resistencia de la tierra es el inverso de este valor:

$$R_s = 0,83 \text{ m} \cdot \text{K} / \text{W}$$

1.5.4.1.5.6. Factor de utilización

Representa la fracción de tiempo que está en marcha la bomba de calor y, por tanto, el tiempo de funcionamiento estacional de la instalación.



La manera más sencilla de calcular la carga térmica es asumir que es una función lineal de la temperatura del aire exterior. Se deben tener cuatro puntos (dos para calefacción y dos para refrigeración) para poder determinar dicha función.

Por un lado, se conoce la carga máxima calorífica en invierno para una temperatura de aire exterior para la población de 0,8°C y la carga máxima frigorífica en verano para una temperatura de aire exterior de 35°C.

Por otro lado, se puede asumir que el sistema sólo demandará calor en invierno cuando la temperatura del aire sea inferior a 16°C, y que solo demandará frío en verano cuando la temperatura del aire sea superior a 21°C. Estos son los cuatro puntos necesarios para calcular la función lineal, y la gráfica correspondiente a su cálculo.

	Temperatura (°C)	Carga (kW)
Refrigeración Verano	35	8,31
	21	0
Calefacción Invierno	0,8	4,59
	16	0

Tabla 20.- Puntos característicos de la función lineal del factor de utilización

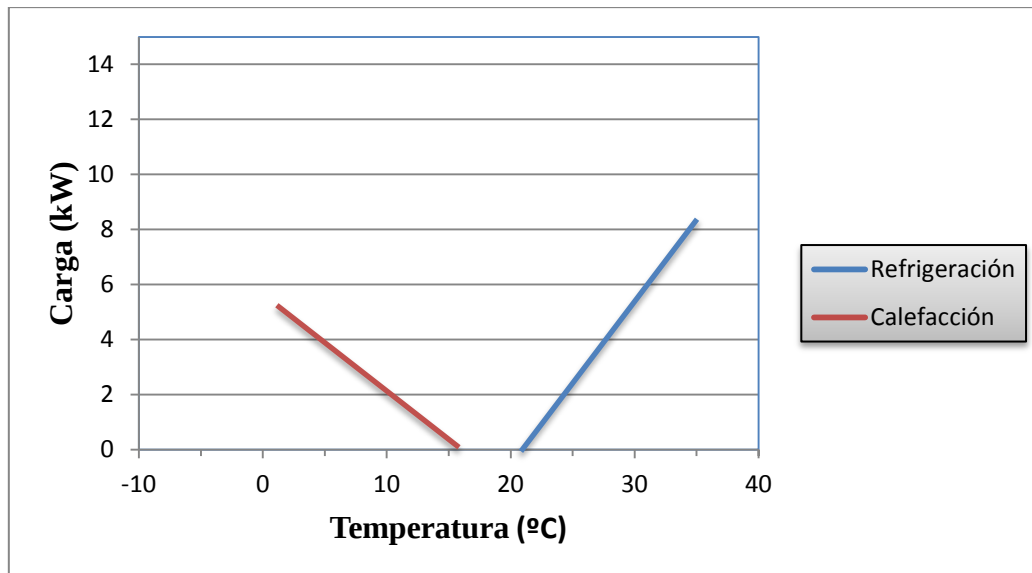


Fig.3.- Variación de las cargas de calefacción y refrigeración en función de la temperatura

Las ecuaciones que rigen cada una de las funciones lineales son las siguientes:



Calefacción:

$$Carga\ KW = -0,31 \cdot Temperatura\ ^\circ C + 4,83 \quad (Ec.35)$$

Refrigeración:

$$Carga\ KW = 0,59 \cdot Temperatura\ ^\circ C - 12,46 \quad (Ec.36)$$

El factor de utilización de la bomba se define como el cociente entre el número de horas de marcha de la bomba de calor y el número de horas totales en el periodo deseado.

Para calcular el factor de utilización de la bomba se ha utilizado una hoja de cálculo, en el que figuran los siguientes campos:

- Mes: Hace referencia al mes en que se calculan todos los parámetros. Para Calefacción se calculará para Diciembre, Enero y Febrero, y para refrigeración será para Junio, Julio, Agosto y Septiembre.
- Tmed: Temperatura media del mes de cálculo. Dato extraído de la Estación Meteorológica. Sus valores figuran en la tabla 3.
- Rango T: Intervalo de temperaturas exteriores entre las que se van a calcular los datos. Serán incrementos de 1°C.
- Text media: Es el valor medio del intervalo de temperaturas exteriores de cálculo.
- Bin Hours: Término que determina el número de horas que un rango de temperaturas determinado se da en un mes (datos aproximados).
- Carga del edificio: Carga térmica proporcional a la temperatura exterior media. Se calcula mediante las funciones lineales asumidas para calefacción y refrigeración (ecuaciones anteriores).
- Fracción marcha: Establece cuánta carga térmica, sobre el total calculado para valores extremos, se está usando en cada rango de temperaturas. Se calcula dividiendo la carga del edificio en cada rango de temperaturas (variable) entre la potencia de la bomba de calor (constante para cada uno de los modos de calefacción o refrigeración).
- Horas marcha: Tiempo en horas que la bomba de calor está funcionando en cada rango de temperaturas en un mes.

Tras establecer la tabla de datos, es necesario sumar el número de horas en marcha y obtener su total.



Por otro lado se suman las horas totales del periodo de calefacción (2160 horas en diciembre, enero y febrero) y refrigeración (2928 horas de junio, julio, agosto y septiembre) respectivamente. Dividiendo ambos términos se obtiene el factor de utilización para los dos periodos.

Tras realizar todos los cálculos, expresados en las tablas siguientes, obtenemos unos valores de:

$$f_{Refrigeracion} = 0,405$$

$$f_{Calefaccion} = 0,203$$

Cálculo del factor de utilización. Modo calefacción de invierno

Mes	T media	Rango T (°C)	Text Media	Bin Hours	Carga (kW)	Potencia bomba (kW)	Fracción marcha	Horas marcha
Diciembre	9,3	0-0,9	0,5	5	4,675	11,5	0,41	2,03
	9,3	1-1,9	1,5	8	4,365	11,5	0,38	3,04
	9,3	2-2,9	2,5	20	4,055	11,5	0,35	7,05
	9,3	3-3,9	3,5	65	3,745	11,5	0,33	21,17
	9,3	4-4,9	4,5	77	3,435	11,5	0,30	23,00
	9,3	5-5,9	5,5	80	3,125	11,5	0,27	21,74
	9,3	6-6,9	6,5	82	2,815	11,5	0,24	20,07
	9,3	7-7,9	7,5	75	2,505	11,5	0,22	16,34
	9,3	8-8,9	8,5	70	2,195	11,5	0,19	13,36
	9,3	9-9,9	9,5	61	1,885	11,5	0,16	10,00
	9,3	10-10,9	10,5	53	1,575	11,5	0,14	7,26
	9,3	11-11,9	11,5	42	1,265	11,5	0,11	4,62
Enero	8,4	0-0,9	0,5	13	4,675	11,5	0,41	5,28
	8,4	1-1,9	1,5	21	4,365	11,5	0,38	7,97
	8,4	2-2,9	2,5	43	4,055	11,5	0,35	15,16
	8,4	3-3,9	3,5	69	3,745	11,5	0,33	22,47
	8,4	4-4,9	4,5	78	3,435	11,5	0,30	23,30
	8,4	5-5,9	5,5	84	3,125	11,5	0,27	22,83
	8,4	6-6,9	6,5	76	2,815	11,5	0,24	18,60
	8,4	7-7,9	7,5	68	2,505	11,5	0,22	14,81
	8,4	8-8,9	8,5	61	2,195	11,5	0,19	11,64
	8,4	9-9,9	9,5	50	1,885	11,5	0,16	8,20
	8,4	10-10,9	10,5	44	1,575	11,5	0,14	6,03
	8,4	11-11,9	11,5	32	1,265	11,5	0,11	3,52
Febrero	10	0-0,9	0,5	3	4,675	11,5	0,41	1,22
	10	1-1,9	1,5	4	4,365	11,5	0,38	1,52
	10	2-2,9	2,5	7	4,055	11,5	0,35	2,47
	10	3-3,9	3,5	15	3,745	11,5	0,33	4,88
	10	4-4,9	4,5	43	3,435	11,5	0,30	12,84
	10	5-5,9	5,5	65	3,125	11,5	0,27	17,66
	10	6-6,9	6,5	81	2,815	11,5	0,24	19,83
	10	7-7,9	7,5	82	2,505	11,5	0,22	17,86
	10	8-8,9	8,5	77	2,195	11,5	0,19	14,70
	10	9-9,9	9,5	68	1,885	11,5	0,16	11,15
	10	10-10,9	10,5	63	1,575	11,5	0,14	8,63
	10	11-11,9	11,5	54	1,265	11,5	0,11	5,94
	10	12-12,9	12,5	42	0,955	11,5	0,08	3,49
	10	13-13,9	13,5	25	0,645	11,5	0,06	1,40

Total horas marcha	438,33
Total horas meses	2160,00
Fracción horas marcha	0,203



Cálculo del factor de utilización. Modo refrigeración de verano

Mes	T media	Rango T (°C)	Text Media	Bin Hours	Carga (kW)	Potencia bomba (kW)	Fracción marcha	Horas marcha
Junio	25,4	23-23,9	23,5	20	1,405	9,2	0,15	3,05
	25,4	24-24,9	24,5	50	1,995	9,2	0,22	10,84
	25,4	25-25,9	25,5	65	2,585	9,2	0,28	18,26
	25,4	26-26,9	26,5	85	3,175	9,2	0,35	29,33
	25,4	27-27,9	27,5	75	3,765	9,2	0,41	30,69
	25,4	28-28,9	28,5	63	4,355	9,2	0,47	29,82
	25,4	29-29,9	29,5	52	4,945	9,2	0,54	27,95
	25,4	30-30,9	30,5	50	5,535	9,2	0,60	30,08
	25,4	31-31,9	31,5	44	6,125	9,2	0,67	29,29
	25,4	32-32,9	32,5	35	6,715	9,2	0,73	25,55
	25,4	33-33,9	33,5	24	7,305	9,2	0,79	19,06
	25,4	34-34,9	34,5	19	7,895	9,2	0,86	16,30
	25,4	35-35,9	35,5	12	8,485	9,2	0,92	11,07
	25,4	36-36,9	36,5	8	9,075	9,2	0,99	7,89
	25,4	37-37,9	37,5	5	9,665	9,2	1,00	5,00
Julio	27,6	23-23,9	23,5	65	1,405	9,2	0,15	9,93
	27,6	24-24,9	24,5	76	1,995	9,2	0,22	16,48
	27,6	25-25,9	25,5	78	2,585	9,2	0,28	21,92
	27,6	26-26,9	26,5	91	3,175	9,2	0,35	31,40
	27,6	27-27,9	27,5	74	3,765	9,2	0,41	30,28
	27,6	28-28,9	28,5	61	4,355	9,2	0,47	28,88
	27,6	29-29,9	29,5	53	4,945	9,2	0,54	28,49
	27,6	30-30,9	30,5	44	5,535	9,2	0,60	26,47
	27,6	31-31,9	31,5	39	6,125	9,2	0,67	25,96
	27,6	32-32,9	32,5	35	6,715	9,2	0,73	25,55
	27,6	33-33,9	33,5	24	7,305	9,2	0,79	19,06
	27,6	34-34,9	34,5	18	7,895	9,2	0,86	15,45
	27,6	35-35,9	35,5	15	8,485	9,2	0,92	13,83
	27,6	36-36,9	36,5	9	9,075	9,2	0,99	8,88
	27,6	37-37,9	37,5	6	9,665	9,2	1,00	6,00
Agosto	27,2	23-23,9	23,5	63	1,405	9,2	0,15	9,62
	27,2	24-24,9	24,5	74	1,995	9,2	0,22	16,05
	27,2	25-25,9	25,5	80	2,585	9,2	0,28	22,48
	27,2	26-26,9	26,5	87	3,175	9,2	0,35	30,02
	27,2	27-27,9	27,5	75	3,765	9,2	0,41	30,69
	27,2	28-28,9	28,5	63	4,355	9,2	0,47	29,82
	27,2	29-29,9	29,5	55	4,945	9,2	0,54	29,56
	27,2	30-30,9	30,5	45	5,535	9,2	0,60	27,07
	27,2	31-31,9	31,5	42	6,125	9,2	0,67	27,96
	27,2	32-32,9	32,5	39	6,715	9,2	0,73	28,47
	27,2	33-33,9	33,5	24	7,305	9,2	0,79	19,06
	27,2	34-34,9	34,5	16	7,895	9,2	0,86	13,73
	27,2	35-35,9	35,5	7	8,485	9,2	0,92	6,46
	27,2	36-36,9	36,5	6	9,075	9,2	0,99	5,92
	27,2	37-37,9	37,5	4	9,665	9,2	1,00	4,00
Septiembre	22,8	23-23,9	23,5	45	1,405	9,2	0,15	6,87
	22,8	24-24,9	24,5	63	1,995	9,2	0,22	13,66
	22,8	25-25,9	25,5	72	2,585	9,2	0,28	20,23
	22,8	26-26,9	26,5	84	3,175	9,2	0,35	28,99
	22,8	27-27,9	27,5	76	3,765	9,2	0,41	31,10
	22,8	28-28,9	28,5	63	4,355	9,2	0,47	29,82
	22,8	29-29,9	29,5	53	4,945	9,2	0,54	28,49
	22,8	30-30,9	30,5	49	5,535	9,2	0,60	29,48
	22,8	31-31,9	31,5	43	6,125	9,2	0,67	28,63
	22,8	32-32,9	32,5	35	6,715	9,2	0,73	25,55
	22,8	33-33,9	33,5	20	7,305	9,2	0,79	15,88
	22,8	34-34,9	34,5	12	7,895	9,2	0,86	10,30
	22,8	35-35,9	35,5	6	8,485	9,2	0,92	5,53
	22,8	36-36,9	36,5	5	9,075	9,2	0,99	4,93
	22,8	37-37,9	37,5	2	9,665	9,2	1,00	2,00

Total horas marcha	1185,15
Total horas meses	2928,00
Fracción horas marcha	0,405



1.5.4.1.6. Longitud del intercambiador enterrado

Una vez calculados todos los parámetros se procede al cálculo de la longitud del intercambiador enterrado para los modos calefacción y refrigeración respectivamente.

Para invierno, la longitud del intercambiador viene definida por la siguiente expresión:

$$L_{calefacción} = \frac{Q_{calefacción} \cdot \frac{COP-1}{COP} \cdot (R_p + R_s \cdot f_{calefacción})}{T_L - T_{MIN}} \quad (Ec.37)$$

Donde:

$$Q_{calefacción} = 11,5 \text{ kW}$$

$$COP = 5$$

$$R_p = 0,074 \text{ m} \cdot \text{K/W}$$

$$R_s = 0,83 \text{ m} \cdot \text{K/W}$$

$$f_{calefacción} = 0,203$$

$$T_L = 17,23^\circ\text{C}$$

$$T_{MIN} = 7^\circ\text{C}$$

Se obtiene una longitud necesaria de intercambio:

$$L_{calefacción} = 218,07 \text{ m}$$

Para verano, la longitud del intercambiador viene definida por la siguiente expresión:

$$L_{refrigeración} = \frac{Q_{refrigeración} \cdot \frac{EER+1}{EER} \cdot (R_p + R_s \cdot f_{refrigeración})}{T_{MAX} - T_H} \quad (Ec.38)$$

Donde:

$$Q_{refrigeración} = 9,2 \text{ kW}$$

$$EER = 4$$

$$R_p = 0,074 \text{ m} \cdot \text{K/W}$$

$$R_s = 0,83 \text{ m} \cdot \text{K/W}$$

$$f_{refrigeración} = 0,405$$

$$T_{MAX} = 35^\circ\text{C}$$

$$T_H = 17,23^\circ\text{C}$$

Se obtiene una longitud necesaria de intercambio:

$$L_{refrigeración} = 265,43 \text{ m}$$



La longitud de los sondeos es la necesaria para que la bomba de calor funcione en correctas condiciones. Para determinar cuántos metros debe medir el sondeo, debe utilizarse la longitud más desfavorable, que es la de refrigeración.

Se tienen tubos en doble u, por lo que la longitud del sondeo será:

$$L_{\text{sondeo}} = 265,43 \text{ m} / 2 = 132,71 \text{ m}$$

El fabricante REHAU trabaja los tubos de doble U escogidos anteriormente con diferentes longitudes (50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 140 y 150 metros).

Se escogen las sondas geotérmicas RAUGEO PE-Xa 32 x 2,9 - 4 tubos de longitud 140 metros. El catálogo puede encontrarse en el apartado de anexos.

Se realizará una perforación de 140 metros de profundidad, con un diámetro mínimo de 140 mm para facilitar la correcta introducción de las sondas. La separación de la boca de la perforación hasta la vivienda será mínimo de 2 metros.

La perforación se realizará mediante la tecnología más adecuada para cada tipo de terreno (rotoperCUSión, perforación con lodos, sistemas de entubación simultánea, etc.). (*ver anexo V*)

Únicamente en casos extremos de colapso del terreno o de existencia de coqueras se procederá al encamisado metálico.

Es muy importante realizar una correcta evacuación del detritus, por lo que el perforador deberá prever los elementos necesarios: zanjas, balsas de lodos, bomba de achique, plásticos para cubrir elementos constructivos circundantes, etc.

Inmediatamente después de la retirada del varillaje se procederá a la introducción de las sondas geotérmicas en la perforación, ya rellenas de agua, con el objetivo de evitar colapsos. La introducción de las sondas se realizará por gravedad, bien manualmente o bien ayudándose de un desenrollador u otro dispositivo mecánico.

Los extremos salientes de tubería permanecerán protegidos con los tapones que llevan de fábrica para evitar la introducción de cualquier partícula, hasta la realización de las pruebas de presión correspondientes.

El espacio existente entre las paredes de la perforación y la sonda geotérmica debe ser relleno para:

- Asegurar una buena transferencia de calor
- Aislar la perforación de flujos de agua



El relleno se puede realizar bien por gravedad con arena silíceo o bien mediante inyección con un sistema adecuado, desde el fondo hasta la boca del sondeo, de cemento, bentonita o materiales termoconductivos específicos para este fin.

Si la permeabilidad del sustrato es baja podrán realizarse rellenos granulares siempre que el sellado alcance la máxima profundidad del nivel piezométrico, mientras que si el sustrato es permeable o se conoce de la existencia de acuíferos es necesario sellar la perforación para evitar afecciones hídricas.

1.5.4.2. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

Una vez definida la bomba agua-agua que va a ser nuestro elemento productor de agua en unas condiciones de temperatura determinadas válidas para la climatización, debemos escoger cuáles serán los elementos terminales que van a usar este fluido para intercambiar su energía con el aire ambiente de las distintas dependencias de la vivienda.

Cabe decir que todos los elementos terminales son de tecnología de dos tubos con un solo circuito, es decir que solo pueden admitir agua fría o caliente. Esto es debido a que las bombas que pueden aprovechar la energía geotérmica (agua/agua) son a dos tubos, al menos las de dimensiones como las que nos ocupan. La selección de agua fría o caliente se hace desde la bomba de calor en función de las temperaturas exteriores del momento.

1.5.4.2.1. Unidades terminales

El conjunto de unidades terminales del sistema de climatización estaría compuesto por fan-coils (ventiloconvectores). Según la experiencia, se establece que es recomendable colocar un fan-coil cada 25 m², para que la climatización de los locales se realice de una forma óptima.

Será necesario disponer de un fan-coil en cada una de las dependencias en las que se divide la vivienda. La carga térmica lo asumirá un fan-coil de cassette o de pared instalado en cada habitación.

El sistema de climatización final es una red de conductos, situada en el falso techo de cada una de las plantas. Consta, por tanto, de una serie de fan-coils, así como sus rejillas correspondientes.

El principio de funcionamiento del fan-coil de cassette se basa en un ventilador centrífugo que aspira el aire a través de una rejilla de retorno de chapa perforada. El aire



se filtra, y se calienta o enfría, a través de una batería de intercambio alimentada con agua caliente o con agua fría, y/o una batería eléctrica. El aire se impulsa horizontalmente mediante las microtoberas de difusión orientables.

Se resumen en la siguiente tabla las diferentes características de los fan-coils utilizados; el dato de potencia frigorífica total se calcula para aire interior a 27°C y agua entre 7/12°C; en el caso de la potencia calorífica, se calcula para aire interior a 20°C

	Coadis Line 612 V3 (CIAT)	Coadis Line 622 V3 (CIAT)
Caudal de aire (m ³ /h)	380	360
Potencia frigorífica total (W) [1]	1,55	2,29
Potencia frigorífica sensible (W)	1,41	1,77
Potencia calorífica (W) [2]	2,19	2,88
Total unidades	8	1

[1] Potencia frigorífica total, para aire interior 27°C y agua 7/12°C

[2] Potencia calorífica calculada para aire interior 20°C y entrada de agua 50°C

Tabla 21.- Especificaciones técnicas de los fan-coils

1.5.4.2.2. Circuito hidráulico

El circuito hidráulico debe encargarse de llevar el agua desde la bomba de calor hasta los fan-coils. Debe estar compuesta por tuberías, codos, válvulas y demás accesorios de modo que se garanticen las condiciones de diseño. Deben existir dos circuitos, uno de impulsión y otro de retorno del agua a la bomba de calor.

Su diseño debe estar basado en los niveles máximos de carga alcanzables en la instalación, así como en la velocidad máxima del agua circulando por las tuberías.

1.5.4.2.2.1 Selección del diámetro de tuberías

El caudal que debe transportar la red de tuberías viene dado por la potencia a transportar y por el salto de temperaturas. Se puede calcular a partir de la siguiente expresión:

$$m = Pot / cp \cdot \Delta T \quad (Ec.39)$$

Donde:

Pot es la potencia de cada fan-coil

cp es el calor específico del agua (4,18 KJ/kg·K)



ΔT es el salto de temperaturas igual a 5°C para la potencia nominal de trabajo

A partir de una serie de caudales de fan-coils y distribución de los mismos, se desea obtener los diámetros adecuados de las conducciones de agua. Una de las principales limitaciones a la hora de dimensionar una red de tuberías en un edificio es la velocidad del fluido en los mismos.

Los materiales que se utilizan determinan la rugosidad superficial del tubo con la que se va a encontrar el agua. Una mayor rugosidad del material implica mayores pérdidas en el tramo. A continuación se muestran los valores utilizados de rugosidad absoluta:

Materiales	Valores de rugosidad absoluta (mm)
Acero negro con soldadura	0,18
Acero negro sin soldadura	0,16
Cobre	0,02

Tabla 22.- Rugosidades de distintos materiales

La guía técnica de Instalaciones de climatización por agua desarrollado por el IDAE, muestra una tabla que facilita la selección del diámetro de tuberías, en función de la potencia de los equipos terminales. Se selecciona aquella que es apta para verano e invierno (temperatura del agua de 10°C).

La selección del diámetro de las tuberías debe hacerse para una pérdida de presión máxima de 40 mm de columna de agua (m.c.a.) por metro lineal de tubería.

Además, la velocidad máxima del agua circulante por las tuberías debe ser inferior a 1,2 m/s para evitar ruidos y vibraciones.

Para tubos de material de cobre según la norma UNE-EN 1057, y una pérdida de carga máxima de 40 mm c.a/m, se pueden seleccionar los diámetros necesarios atendiendo a la siguiente tabla:



TUBO DE COBRE (UNE-EN 1057)
AGUA A 10°C, PÉRDIDA DE PRESIÓN DE 40 mm c.a./m

Potencia (kW)	Caudal ($\Delta t=5^{\circ}\text{C}$) (l/h)	Caudal ($\Delta t=5^{\circ}\text{C}$) (l/s)	Diámetro nominal	Velocidad (m/s)	DP (mm c.a./m)
1	172	0,048	12 x 1,0 15 x 1,0	0,61 0,36	72,4 21,0
1,5	257	0,071	15 x 1,0 18 x 1,0	0,54 0,36	42,1 15,8
2	343	0,095	15 x 1,0 18 x 1,0	0,72 0,47	69,1 25,9
2,5	429	0,119	15 x 1,0 18 x 1,0	0,90 0,59	101,7 38,0
3	515	0,143	18 x 1,0 22 x 1,0	0,71 0,45	52,1 18,1
4	686	0,191	18 x 1,0 22 x 1,0	0,95 0,61	86,0 29,8
5	858	0,238	22 x 1,0 25 x 1,5	0,76 0,63	44,0 28,0

Tabla 23.- Diámetro nominal y pérdida de carga de las tuberías de cobre para climatización. IDAE

Los fan coils de la instalación tienen una potencia nominal de refrigeración de 1,55 kW y 2,29 kW, y una potencia nominal de calefacción de 2,19 kW y 2,88 kW (según el tipo).

Para garantizar que la pérdida de carga en la instalación no supere los 40 mm c.a/m, establecidos en el diseño se escoge un diámetro nominal de tubo de 18 x 1,0.

La longitud de cada uno de los tramos es la que abastece a cada fan-coil desde la línea principal de abastecimiento de agua.

1.5.4.2.2.2. Aislamiento de las tuberías

La red de distribución del circuito de climatización con agua trabajará en un rango de temperaturas de entre 40 y 45 °C en invierno y entre 7 y 12 °C en verano.

El cálculo de los aislamientos de las tuberías puede realizarse por el método simplificado (prescriptivo) o por el método prestacional. Se elige el primero de ellos para el dimensionamiento.

El método prescriptivo viene explicado en la instrucción técnica IT 1.2.4.2.1.2 del Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE). Establece unos espesores mínimos de acuerdo a la siguiente tabla:



Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios								
Diámetro exterior tubería	$\lambda_{ref} = 0,040 \text{ (W/m}\cdot\text{K) a } 10^{\circ}\text{C}$				$\lambda = 0,035 \text{ (W/m}\cdot\text{K) a } 10^{\circ}\text{C}$			
	$T_{MAX \text{ DEL FLUIDO}}$		$T_{MIN \text{ DEL FLUIDO}}$		$T_{MAX \text{ DEL FLUIDO}}$		$T_{MIN \text{ DEL FLUIDO}}$	
	40 a 60 °C		> 0 a 10 °C		40 a 60 °C		> 0 a 10 °C	
	Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior	Interior	Exterior
$D \leq 35$	25	35	20	40	20,5	28,3	16,6	32,1
$35 < D \leq 60$	30	40	30	50	25,0	33,0	25,0	40,8
$60 < D \leq 90$	30	40	30	50	25,4	33,5	25,4	41,5
$90 < D \leq 140$	30	40	40	60	25,6	34,0	34,0	50,3

Tabla 24.- Espesores de los aislamientos de las tuberías según tablas RITE

El espesor mínimo que deben tener las tuberías y accesorios, para una conductividad de referencia de $0,04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ debe ser de 25 mm.