

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA TÉRMICA Y DE FLUIDOS

ÁREA DE INGENIERÍA TÉRMICA



GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO FIN DE GRADO

**DISEÑO DE CALEFACCIÓN POR SUELO
RADIANTE Y ACS PARA UNA VIVIENDA
UNIFAMILIAR**

AUTOR: ANDRÉS CEBRIÁN RODRÍGUEZ

TUTORA: RAQUEL LIZARTE MAYO

JULIO, 2014

A cada una las personas que siempre me apoyaron en esta etapa de mi vida, en especial a mi padre y a mis abuelos Juan y Rosario, Gracias.

<u>ÍNDICE</u>	<u>Página</u>
ÍNDICE	1
ÍNDICE DE FIGURAS	4
ÍNDICE DE TABLAS	6
1. INTRODUCCIÓN	8
1.1. Objetivos	9
2. SISTEMAS DE CALEFACCIÓN.SUELO RADIANTE.	10
2.1 Elementos del sistema de calefacción.....	11
2.2 Sistemas de calefacción.....	13
2.3 Suelo Radiante	14
2.3.1 Transmisión de calor.	14
2.3.2 Componentes.....	16
2.3.3 Colectores de distribución.	21
2.3.4 Elementos del sistema de control y regulación.	22
2.3.5 Ventajas e inconvenientes.....	27
2.3.6 Parámetros de diseño.	29
3. CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA Y DEMANDA DE ACS.....	31
3.1. Descripción de la vivienda	32
3.2. Código Técnico de la Edificación.	33
3.3 Formulación para el cálculo de la transmitancia U	36
3.4 Cálculo de la transmitancia U de la envolvente de la vivienda.	37
3.5. Cálculo de coeficiente KG de la vivienda	44
3.6 Cálculo de cargas térmicas.	47
3.6.1. Carga térmica por transmisión.....	48
3.6.2 Carga térmica por renovación.....	49
3.6.3 Carga térmica por infiltración.	49
3.6.4 Carga térmica por inercia térmica.....	49
3.6.5 Carga térmica máxima.....	50
3.7 Resultados del cálculo de cargas térmicas máximas por estancias.	50
3.7.1 Carga térmica por transmisión.....	50

3.7.2 Carga térmica por renovación.....	51
3.7.3 Carga térmica total.....	52
3.8 Demanda de calefacción anual de la vivienda.....	53
3.9 Demanda de ACS anual de la vivienda.	54
3.10 Potencia térmica requerida para ACS.....	58
4. DISEÑO DE SUELO RADIANTE.....	61
4.1. Procedimiento de diseño mediante la Norma UNE 1264. Algoritmo de cálculo	62
4.1.1 Cálculo de las curvas características.....	69
4.1.2 Cálculo de las curvas límite.....	72
4.1.3 Representación del diagrama de curvas.....	74
4.1.4 Dimensionamiento.....	75
4.2 Especificaciones de los componentes del suelo radiante.	82
4.2.1 Longitud de tubo total.....	82
4.2.2 Bomba.	83
4.2.3 Caldera	88
4.2.4 Vaso de expansión.	89
4.2.5 Otros componentes.....	91
5. DISEÑO DE RADIADORES	92
5.1 Selección del número de elementos de cada radiador.	93
5.2 Especificaciones de los componentes del sistema de radiadores.....	97
6. COMPARATIVA ECONÓMICA Y AMBIENTAL ENTRE LOS SISTEMAS DE CALEFACCIÓN POR SUELO RADIANTE Y RADIADORES	99
6.1 Estudio económico.....	100
6.2 Estudio ambiental.	108
7. CONCLUSIONES.	111
8. NOMENCLATURA.....	113
9. BIBLIOGRAFÍA.....	120
10. ANEXOS.	123
10.1 Anexo I: Planos de la vivienda.	124
10.2 Anexo II: Resultados de la demanda diaria de calefacción en KWh. ..	125

10.3 Anexo III: Diagramas.	126
10.4 Anexo IV: Especificaciones de componentes.....	127
10.5 Anexo V: Precio de los componentes del sistema de suelo radiante..	133
10.6 Anexo VI: Precio de los componentes del sistema de radiadores.	139

ÍNDICE DE FIGURAS

- Capítulo 2.

Figura 2.1: Transmisión de calor en suelo radiante.

Figura 2.2: Esquema de una instalación de suelo radiante.

Figura 2.3: Componentes del suelo radiante.

Figura 2.4: Distribución en serpentín.

Figura 2.5: Distribución en doble serpentín.

Figura 2.6: Distribución en espiral.

Figura 2.7: Propiedades del tubo de polietileno reticulado.

Figura 2.8: Propiedades del tubo multicapa.

Figura 2.9: Propiedades del tubo de polibuteno

Figura 2.10: Colector.

Figura 2.11: Cabezal electrotérmico.

Figura 2.12: Termostato ambiente.

Figura 2.13: Esquema unidad de control.

Figura 2.14: Sonda de temperatura exterior.

Figura 2.15 Centralita de regulación.

Figura 2.16: Sonda de impulsión.

Figura 2.17: Válvula de regulación.

Figura 2.18: Sonda de temperatura ambiente.

Figura 2.19: Grupo de impulsión.

Figura 2.20: Distribución de temperaturas de los sistemas de calefacción.

- Capítulo 3.

Figura 3.1: Plano de la envolvente.

Figura 3.2: Esquema de envolvente.

Figura 3.3: Composición del muro de fachada.

Figura 3.4: Composición del techo.

Figura 3.5: Composición del suelo.

Figura 3.6: Composición de la puerta.

Figura 3.7: Composición de la ventana.

Figura 3.8: Demanda anual de calefacción.

Figura 3.9: Demanda mensual de ACS.

- Capítulo 4.

Figura 4.1: Configuración tipo A.

Figura 4.2: Curva Característica Básica.

Figura 4.3: Diagrama de curvas.

Figura 4.4: Determinación de $\Delta\theta$.

Figura 4.5: Utilización de la Curva Característica Básica.

Figura 4.6: Composición de resistencias de suelo radiante.

Figura 4.7: Diagrama de pérdida de carga de las tuberías Wirsbo-evalPEX.

Figura 4.8: Diagrama de pérdida de carga en el colector.

Figura 4.8: Curvas características de las bombas Wilo.

- Capítulo 5.

Figura 5.1: Temperaturas que influyen en el cálculo de un radiador.

Figura 5.2: Radiador JET80, BOXIROCA.

- Capítulo 6.

Figura 6.1: Tarifas Gas Natural Fenosa.

Figura 6.2: Factor de conversión según tipo de combustible.

Figura 6.3: VAN

Figura 6.4: Emisiones de CO_2 según tipo de combustible.

ÍNDICE DE TABLAS

- Capítulo 3.

Tabla 3.1: Superficies de cada estancia.

Tabla 3.2: Zonas climáticas.

Tabla 3.3: Transmitancias térmicas límite.

Tabla 3.4: Resistencias de convección.

Tabla 3.5: Resistencias de conducción del muro de fachada.

Tabla 3.6: Resistencias de conducción del techo.

Tabla 3.7: Resistencias de conducción del suelo.

Tabla 3.8: Resistencias de conducción de la ventana.

Tabla 3.9: Valores límite de K_G .

Tabla 3.10: Valores de α según energía empleada en calefacción.

Tabla 3.11: Parámetros de la envolvente.

Tabla 3.12: Cargas térmicas por transmisión.

Tabla 3.13: Caudales de ventilación.

Tabla 3.14: Cargas térmicas por renovación.

Tabla 3.15: Cargas térmicas totales.

Tabla 3.16: Temperaturas medias diarias del agua de la red.

Tabla 3.17: Consumo diario de agua según tipo de edificio.

Tabla 3.18: Demanda mensual de ACS.

Tabla 3.19: Caudales instantáneos.

- Capítulo 4.

Tabla 4.1: Parámetros característicos del suelo radiante de la vivienda.

Tabla 4.2: Pasos seleccionados para las curvas características y límite.

Tabla 4.3: Valores de a_T .

Tabla 4.4: Valores de a_U .

Tabla 4.5: Valores de a_D .

Tabla 4.6: Valores de m_T para los pasos seleccionados.

Tabla 4.7: Ecuaciones curvas características.

Tabla 4.8: Valores de B_G .

Tabla 4.9: Valores de n_G .

Tabla 4.10: Ecuaciones curvas límite.

Tabla 4.11: Potencia térmica específica por estancia.

Tabla 4.12: Resultados de las temperaturas de diseño.

Tabla 4.13: Valor caudal de agua.

Tabla 4.14: Resumen de resultados de los parametros de diseño.

Tabla 4.15: Longitud de los circuitos.

Tabla 4.16: Valores ΔP para cada estancia.

- Capítulo 5.

Tabla 5.1: Temperaturas según RITE.

Tabla 5.2: Número de elementos por radiador.

- Capítulo 6.

Tabla 6.1: Presupuesto suelo radiante.

Tabla 6.2: Presupuesto radiadores.

Tabla 6.3: Contaminantes.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Objetivos

El presente proyecto tiene por objetivo realizar el diseño de calefacción por suelo radiante y ACS para una vivienda unifamiliar. Para ello, se diseña la envolvente de la vivienda para que cumpla las exigencias de CTE y el diseño del suelo radiante se realiza de acuerdo a lo marcado en la norma UNE-EN-1264.

Una vez diseñado el sistema, se realiza el diseño de un sistema de calefacción por radiadores para la misma vivienda. Posteriormente se lleva a cabo una comparación entre ambos sistemas de calefacción, constituida por una parte económica y otra parte ambiental.

A continuación se describe brevemente en qué consiste cada capítulo del presente proyecto.

Capítulo 1: INTRODUCCIÓN. Se definen el objetivo del presente proyecto y los objetivos de cada capítulo.

Capítulo 2: SISTEMAS DE CALEFACCIÓN.SUELO RADIANTE. Se describen los sistemas de calefacción típicos usados en España, los tipos de calderas y los combustibles que utilizan y los rangos operativos de funcionamiento. Por otra parte, se describen todos los componentes que forman parte de una instalación de suelo radiante, así como las características del mismo.

Capítulo 3: CÁLCULO DE LA CARGA TÉRMICA Y DEMANDA DE ACS. Se define la envolvente térmica de la vivienda para que cumpla con el Código Técnico de la Edificación. Se realiza el cálculo de cargas térmicas y de ACS.

Capítulo 4: DISEÑO DE SUELO RADIANTE. A partir de la norma UNE 1264 se realiza el diseño del suelo radiante. También se realizan las especificaciones de los componentes del suelo radiante.

Capítulo 5: DISEÑO DE RADIADORES. Se determina para la misma vivienda en estudio, la instalación de un sistema de calefacción mediante radiadores.

Capítulo 6: COMPARATIVA ECONÓMICA Y AMBIENTAL ENTRE LOS SISTEMAS DE CALEFACCIÓN POR SUELO RADINATE Y RADIADORES. Se realiza una comparación económica y ambiental entre el sistema de calefacción por suelo radiante y radiadores.

Capítulo 7: CONCLUSIONES. Se muestran los resultados obtenidos más relevantes del proyecto.

2. SISTEMAS DE CALEFACCIÓN. SUELO RADIANTE

La calefacción es un método de climatizar un espacio cerrado mediante el aporte de calor, en las estaciones más frías, en función de las necesidades térmicas, con el fin de obtener una sensación de confort.

2.1 Elementos del sistema de calefacción.

Una instalación de calefacción está formada por tres partes:

- a) Un sistema de producción de calor.
- b) Un sistema de distribución, mediante circuitos por los que circula el fluido de calefacción.
- c) Un sistema emisor, formado por un elemento que libera la energía térmica del fluido caloportador.

A continuación se describe cada uno de los elementos anteriores:

a) El sistema de producción de calor, que puede tratarse de una caldera (quema de un combustible), de una resistencia eléctrica (basado en el efecto Joule), de paneles solares (mediante usufructo de la radiación solar) ó de la energía calorífica natural o remanente (biomasa) entre otros. En el presente proyecto se ha optado por una caldera como sistema de producción de calor.

Existe un amplio abanico de calderas en el mercado actual. Atendiendo a su clasificación:

- Clasificación en función del diseño:
 - *Calderas acuotubulares.*
 - *Calderas pirotubulares.*
- Clasificación en función del tipo de sujeción:
 - *Calderas murales.*
 - *Calderas de pie o suelo.*
- Clasificación en función del circuito al que alimentan:
 - *Calderas simples.*
 - *Calderas mixtas.*
- Clase de calderas en función de su actividad en relación con la producción de agua caliente:
 - *Calderas con acumulación.*
 - *Calderas con microacumulación.*
 - *Calderas instantáneas.*

- Clasificación en función del modo que toman aire para la combustión:

- *Calderas atmosféricas.*
- *Calderas estancas.*

- Clasificación en función del tipo de combustión:

- *Calderas de Bajo NOx.*
- *De baja temperatura.*
- *Calderas de condensación.*
- *Calderas convencionales*

En el presente proyecto se han empleado las calderas de condensación y convencionales, por lo que se realiza una descripción de ambas:

- *Calderas de condensación:* son las más eficientes gracias a la recuperación del calor de condensación de los gases de combustión. Los gases de combustión tienen un porcentaje importante de vapor de agua que al condensar desprende calor que es aprovechado por la caldera, motivo por el que estas calderas obtiene rendimientos superiores al 100%. Las calderas de condensación también consiguen disminuir la formación de óxidos de nitrógeno con lo que ayudan a evitar el problema de la contaminación atmosférica, convirtiéndose en las menos contaminantes, ya que consumen menos combustible (por lo que emiten menos CO_2). Son adecuadas para sistemas en los que se produce agua a una temperatura de 40°C [1] y dicha agua retorna a la caldera a una temperatura de 30°C [1] (ambas son temperaturas aproximadas de funcionamiento).
- *Calderas convencionales:* Trabajan a una, temperatura media entre la ida y el retorno (90°C – 60°C [2], respectivamente) cercana a los 75°C para evitar que se alcance en su interior la temperatura de rocío de los humos, que provoca condensación de compuestos en forma de ácidos. Calientan agua hasta una temperatura de 90°C y su rendimiento a potencia máxima es del orden del 90% sobre el poder calorífico inferior [2].

b) El sistema de distribución depende del sistema de calefacción. Los sistemas de calefacción que emplean un fluido para la producción de calor, el sistema de distribución está formado generalmente por un conjunto de tuberías.

c) El sistema emisor también depende del sistema de calefacción. En el siguiente apartado se muestran algunos de los emisores empleados.

2.2 Sistemas de calefacción.

A continuación se van a exponer distintos sistemas de calefacción utilizados, en función del emisor:

- *Bomba de calor.*
- *Emisor térmico eléctrico.*
- *Chimenea.*
- *Estufa.*
- *Radiadores.*
- *Suelo radiante.*

En el presente proyecto se utilizan los sistemas de calefacción por radiadores y suelo radiante, por lo que se describen ambos:

- *Radiadores:* Son los elementos intercambiadores del calor entre el agua calentada y el espacio que se quiere calentar. Se clasifican en:

- Clasificación en función de la temperatura de trabajo:

- *Radiadores de alta temperatura:* Conocidos como convencionales, operan con un fluido caloportador de 70-80°C [3].
- *Radiadores de baja temperatura:* Operan con un fluido de calefacción a una temperatura entorno a los 35-45°C [3]. Debido a que operan con agua a menor temperatura, producen menos consumo de combustible y menores emisiones de contaminantes.

- Clasificación en función del material:

- *Radiadores de hierro fundido:* se caracterizan por tener una duración prácticamente ilimitada, debido a la elevada resistencia a la corrosión del hierro fundido, y por tener una gran inercia térmica. Una de sus mayores ventajas es la de poder ampliar sus elementos gracias a la fácil unión entre ellos.
- *Radiadores de acero:* son mucho más ligeros que los de fundición, teniendo por lo tanto una masa y una inercia térmica menor. Por el contrario, su resistencia a la corrosión es inferior a los de fundición por lo que su vida es más corta.
- *Radiadores de aluminio:* trabajan básicamente por convección ya que el aluminio tiene un coeficiente de radiación muy bajo. Además, con frecuencia están constituidos por elementos aleteados

longitudinalmente, favoreciendo aún más la transmisión de calor por convección. Son mucho más ligeros que los demás debido a la baja densidad de este material. Tienen muy poca inercia térmica, por lo que les hace idóneos para calefacciones de puesta en régimen rápidas.

La mejor colocación de los radiadores, por motivos de confort, es debajo de las ventanas, haciendo coincidir la extensión del radiador con la de la ventana, para beneficiar la correcta transmisión del aire caliente por la habitación.

- Suelo radiante: Es un sistema de climatización compuesto por diferentes elementos que garantizan la máxima eficiencia y calidad. Éste está compuesto por un panel aislante térmico que permite minimizar las pérdidas caloríficas descendentes. Al mismo se fija la tubería por donde se hace circular un fluido caloportador (normalmente agua), que cede su energía calorífica a una capa de mortero que se coloca por encima y alrededor del tubo. Dicha capa almacena la energía (concepto de inercia térmica, el cual se ve más adelante) y ésta es cedida al recubrimiento superficial de la vivienda (cerámica, parquet, etc.), que a su vez la entrega al ambiente en forma de radiación principalmente. Dichos tubos se distribuyen prácticamente sobre toda la superficie del suelo, lo que ocasiona que la temperatura del fluido caloportador sea baja (35 a 45 °C) [4], dado a la gran área de intercambio existente.

Menos usual, es la aplicación de suelo radiante formado por resistencias eléctricas. El sistema de suelo radiante puede utilizarse para calefacción y refrigeración, en caso de que realice las dos funciones, se conoce como suelo radiante dinámico.

2.3 Suelo Radiante

2.3.1 Transmisión de calor.

La transmisión de calor es un proceso durante el cual se transfiere calor desde una materia caliente a otra más fría.

En el suelo radiante existen todas las formas de transmisión de calor: conducción, radiación y convección. La transmisión por conducción se produce desde los tubos que contienen el fluido de calefacción hacia la capa de mortero de cemento y posteriormente, de esta a la capa de revestimiento superficial del suelo. La convección y radiación se ocasiona desde la superficie del suelo hacia el ambiente interior de la vivienda.

En la Figura 2.1 se pueden observar, aproximadamente, los porcentajes de los diferentes procesos de transmisión de calor que intervienen en el sistema de suelo radiante:



Figura 2.1 Transmisión de calor en suelo radiante [5].

Antes de describir todos los componentes del suelo radiante, es conveniente conocer el esquema de una instalación de calefacción de este tipo, la cual se muestra en la Figura 2.2:

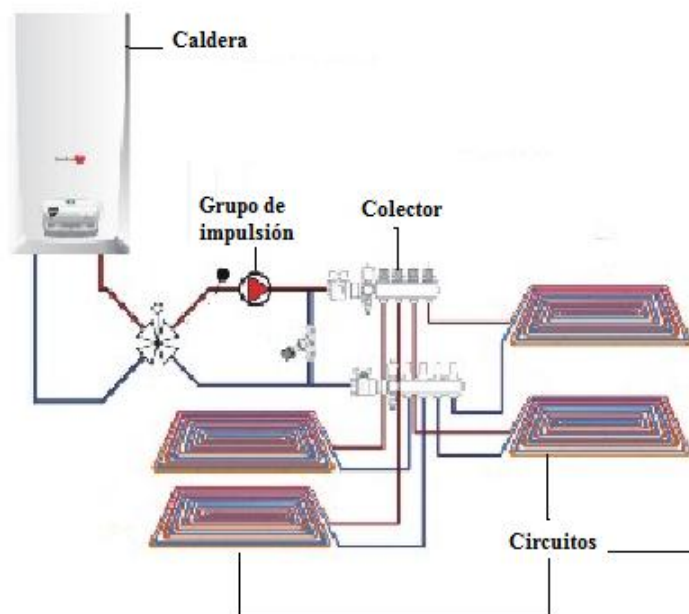


Figura 2.2 Esquema de una instalación de suelo radiante.

El fluido caloportador utilizado en este tipo de instalación es el agua. Algunas de las características importantes del agua son: densidad ρ (Kg/m^3), calor específico C_p ($KJ/Kg \cdot K$) y viscosidad dinámica μ ($Kg/m \cdot s$) y las cuales se utilizarán a lo largo del presente proyecto.

2.3.2 Componentes.

El sistema de suelo radiante está compuesto por los siguientes elementos, los cuales se describen a continuación:

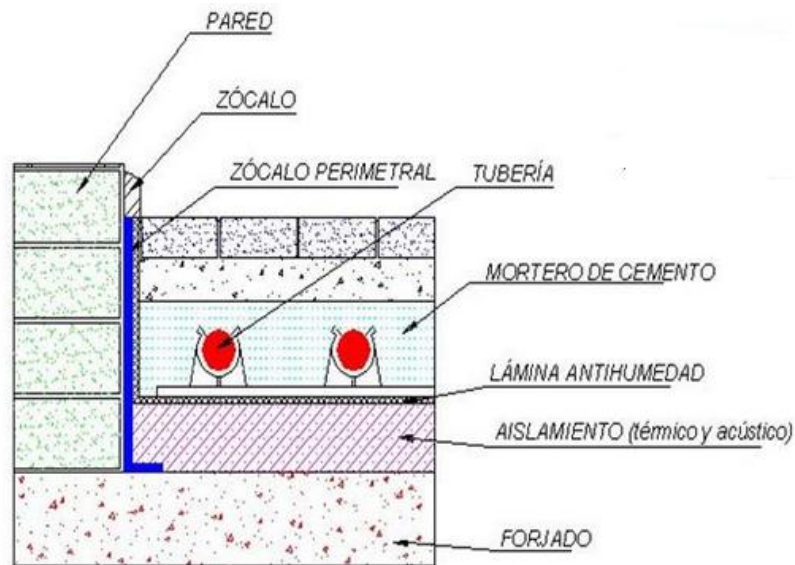


Figura 2.3 Componentes suelo radiante.

a) Banda perimetral:

La banda perimetral (ó zócalo perimetral) realiza funciones mecánicas y térmicas. Aísla, perfecta e independientemente, la base del sistema y los muros exteriores e interiores, permite la dilatación que sufre la losa de mortero por efecto del calentamiento y evita puentes térmicos. Está fabricada de espuma de polietileno extruido y va fijada a la pared.

b) Film antihumedad:

Barrera de polietileno que actúa como barrera antihumedad, que impide el ascenso por capilaridad de humedades. Se coloca entre el suelo base (forjado) y la superficie emisora de suelo radiante colocado por encima. Su uso se puede excluir cuando no existan riesgos de humedad o cuando el panel aislante cumpla con su función.

c) Panel aislante:

Es uno de los elementos más importantes del sistema y cumple dos funciones trascendentales: primero, impedir que la potencia térmica se fugue por el suelo y segundo, alojar en el los tubos por los que fluye el fluido caloportador, mediante tetones o grapas de sujeción. Generalmente está fabricado de poliestireno expandido, debido a sus buenas propiedades térmicas.

d) Mortero de cemento:

En su interior están fijados los tubos por donde fluye el fluido caloportador. Los tubos transmiten la energía térmica, por conducción, al mortero, que a su vez y también por conducción, transfiere el calor al pavimento (el mortero tiene buena conductividad térmica), elemento emisor de la potencia térmica.

La capa de mortero debe estar aditivada para mejorar sus propiedades mecánicas ya que está sometido a unas condiciones operativas severas, tal y como se muestra a continuación.

Existe cierto tiempo desde que se activa el sistema hasta que se adquiere un ambiente de confort, responsable de ello es la inercia térmica de la capa de mortero, que depende del espesor y de la calidad de esta.

e) Aditivo para el mortero de cemento:

Se trata de un líquido especial que se añade al mortero para aumentar su fluidez. Una mayor fluidez del mortero hace que se requiera menor cantidad de agua para el amasado y se reduzca la porosidad del mortero una vez fraguado, con lo que se optimizan las características del mortero haciéndolo más resistente a la compresión y más elástico. El mortero así envolverá perfectamente el tubo sin dejar celdillas de aire que dificultarían la transmisión del calor. El resultado final es un mortero con una mayor resistencia mecánica y una mejor transmisión del calor. El aditivo fluidificante es también un gran reductor de agua.

Finalmente, este aditivo tiene una función retardante, es decir, retrasa el fraguado del mortero para evitar que un fraguado excesivamente rápido genere fisuras.

f) Tubos:

Conductos por los que fluye el fluido caloportador, transmitiendo la energía térmica de este a la capa de mortero de cemento. Salen del colector (ver Figura 4.2), tomando de estos el fluido caliente, a la estancia a calefactar, recorriéndola mediante un circuito cerrado y finalmente, entra en el colector. Existen 3 tipos de configuración en las que se pueden distribuir los tubos:

- En serpentín: La distribución del tubo empieza por un extremo del local y termina en el extremo opuesto avanzando en líneas paralelas equidistantes una de otras. Esta distribución es la más sencilla pero presenta una gran inconveniente. En efecto, a pesar de tener una cantidad de tubo por metro cuadrado idéntica en cualquier punto del local, el reparto del calor no es igual ya que el agua se va enfriando a lo largo del circuito, por lo que es la distribución menos utilizada.



Figura 2.4 Distribución en serpentin.

- En doble serpentin: Al igual que la distribución en serpentin, se va de un extremo a otro avanzando en líneas paralelas equidistantes una de otras pero dejando huecos donde van colocadas las líneas de retorno hasta llegar otra vez al punto de partida. Esta distribución elimina el inconveniente mencionado anteriormente y se adapta perfectamente a locales irregulares o alargados. Es utilizado en estancias con grandes superficies. Presenta el inconveniente de que posee pequeños radios de curvatura.



Figura 2.5 Distribución en doble serpentin.

- En espiral: se realiza en forma de espiral de forma cuadrada o rectangular empezando por un extremo y avanzando de fuera a dentro dejando huecos para volver al punto de partida al llegar al centro del local. Este sistema iguala perfectamente la temperatura del suelo ya que se alterna un tubo de ida con un tubo de retorno. Es utilizado en estancias con moderadas superficies.

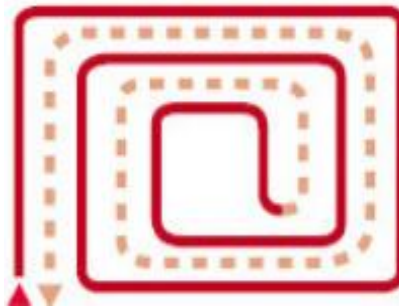


Figura 2.6 Distribución en espiral.

El tubo que se emplea para la distribución del agua para calefacción requiere especial atención a sus propiedades y características mecánicas, ya que este elemento va a formar parte integrante de la estructura del edificio durante un largo periodo de tiempo. Generalmente, en el sistema de suelo radiante es común el uso de alguno de los siguientes modelos de tuberías: tubería de polietileno reticulada (PE-X), tubería multicapa y Tubería de polibutileno PB.

- Tubería de polietileno reticulado: Se realiza con polietilenos de alta densidad, al que se somete a un proceso de reticulado. Tiene las siguientes características y propiedades mecánicas:
 - El proceso de reticulado confiere a la tubería una gran resistencia térmica en condiciones de presión elevada.
 - Gran facilidad de manejo.
 - Muy flexible, permite operar con ella en cualquier condición.
 - Alta resistencia a la erosión. Permite velocidades elevadas de circulación.
 - Resistente a los impactos debido a la elasticidad del material.

Descripción	16 x 2,0	20 x 2,0
Diámetro exterior (mm)	16,0	20,0
Espesor nominal (mm)	2,0	2,0
Diámetro interior (mm)	12,0	16,0
Peso (gr/m)	88	117
Volumen interior (l/m)	0,113	0,201
Grado de reticulación mínimo	75%	75%
Conductividad térmica (W/m °K)	0,35	0,35
Coefficiente de dilatación (mm/m °K)	0,14	0,14
Rugosidad interna (µm)	0,5	0,5
Permeabilidad al oxígeno a 40 °C (mgld)	≤ 0,1/0	≤ 0,1/0
Temperatura máxima de trabajo (°C)	95	95
Presión máxima de trabajo a 80 °C (bar)	8	6
Radio de curvatura en frío (mm)	35	90

Figura 2.7 Propiedades tubería polietileno reticulado [5].

- Tubería multicapa: está formada por tres capas superpuestas: una capa interna de polietileno reticulado (PE-X), una capa intermedia de aluminio y una capa externa en polietileno (PE). La capa intermedia se une a la interior y exterior mediante una capa adhesiva que cubre la totalidad de la superficie de las capas para garantizar una total adhesión. Posee las siguientes ventajas y características mecánicas:
 - Tiene una menor dilatación.
 - Es impermeable al oxígeno gracias a la capa de aluminio.
 - Es insensible a la corrosión por el interior y el exterior.

- Es flexible y adaptable.

Descripción	16 x 2,0	20 x 2,0
Diámetro exterior (mm)	16,0	20,0
Espesor nominal (mm)	2,0	2,0
Diámetro interior (mm)	12,0	16,0
Peso (gr/m)	107	145
Volumen interior (l/m)	0,113	0,201
Conductividad térmica (W/m °K)	0,35	0,35
Coeficiente de dilatación (mm/m °K)	0,14	0,14
Rugosidad interna (µm)	0,5	0,5
Temperatura máxima de trabajo (°C)	95	95
Presión máxima de trabajo a 80 °C (bar)	8	6
Radio de curvatura en frío (mm)	35	90

Figura 2.8 Propiedades tubería multicapa [5].

- Tubería de polibutileno: está realizada en polibutileno (polímero termoplástico cristalizado). Tiene las siguientes características y propiedades mecánicas:
 - Gran facilidad de manejo
 - Tubería muy flexible, puede trabajar en severas condiciones.
 - Resistente a los impactos debido a la elasticidad del material
 - Tiene un índice de rigidez y fragilidad bajo, es improbable que se produzcan reventones.
 - Reciclable. El PB es un material completamente reciclable, por lo tanto con un bajo impacto ambiental

Descripción	15 x 1,7	18 x 2,2
Diámetro exterior (mm)	15	18
Espesor nominal (mm)	1,7	2,2
Diámetro interior (mm)	11,6	13,6
Peso (gr/m)	70	92
Volumen interior (l/m)	0,095	0,174
Conductividad térmica (W/m °K)	0,35	0,35
Coeficiente de dilatación (mm/m °K)	0,14	0,14
Rugosidad interna (µm)	0,5	0,5
Temperatura máxima de trabajo (°C)	95	95
Presión máxima de trabajo a 80 °C (bar)	8	6
Radio de curvatura en frío (mm)	35	90

Figura 2.9 Propiedades tubo polibutileno [5].

Cabe destacarse que todas las tuberías mencionadas anteriormente cuentan con una barrera anti-oxígeno, que favorece estanqueidad al oxígeno, disminuyendo el proceso de oxidación y aumentando la vida útil de la tubería.

g) Junta de dilatación:

Los cambios térmicos pueden provocar pequeños movimientos del suelo que con el paso del tiempo pueden agrietar el acabado superficial, para evitar que esto ocurra es necesaria la colocación de juntas de dilatación. Su empleo no es de carácter de obligatorio, pues sólo se emplea para superficies radiantes de más de 40 m² ó en aquellas en las que la longitud es, como mínimo, dos veces la anchura.

2.3.3 Colectores de distribución.

La función de los colectores en una instalación de suelo radiante, es la de obtener varios circuitos derivados partiendo de un único circuito principal. Siempre deberá de existir un colector de impulsión y un colector de retorno por cada zona a calentar. Dentro de una instalación podrán existir varias estancias, incorporando cada una de ellas un conjunto colector de impulsión y colector de retorno.

Deben situarse más alto que los circuitos que alimentan (facilita el purgado, el curvado de los tubos en la salida del suelo y favorece la circulación del agua caliente). Es necesario prestar atención a la localización de colectores antes de realizar la instalación, se buscará una situación más o menos centrada en la vivienda para mantener al mínimo la longitud de la tubería que se distribuye entre colectores y las zonas individuales de calentamiento. Esto ayudara a equilibrar el sistema y a mejorar el control de la temperatura de las habitaciones.

Un conjunto de colectores, incluye colector de impulsión y de retorno, además de los siguientes componentes que hacen que los circuitos operen de una manera adecuada.

- Cabezales electrotérmicos: Cada circuito tiene de una válvula termostatizable que permite el cierre total o parcial independientemente, mediante un termostato ambiente.
- Medidores de caudal: Permiten conocer el caudal que circula por cada circuito.
- Detentores: Tienen la finalidad de regular el caudal en función de los datos técnicos de cada circuito.
- Válvulas de esfera con racor móvil (ó de corte): Cada colector dispone de una llave de corte necesaria para independizarlo del resto de la instalación. Se trata de una de una válvula de esfera reversible dotada de racor móvil y termómetro, que nos permite saber en todo instante las temperaturas del agua de ida y retorno.
- Grupos de purgado y vaciado: Están constituidos por un purgador y una válvula de vaciado. El objeto del purgador es eliminar el aire de la red para contribuir a la adecuada circulación del agua mediante los circuitos

del suelo radiante. La función de la válvula de vaciado es permitir el vaciado del colector. Ambos se sitúan en el extremo de los colectores.

Los colectores disponen de tantas salidas como circuitos existan en el local a calefactar. El colector de impulsión distribuye el agua caliente de la caldera a los diversos circuitos que componen la instalación. El colector de retorno devuelve el agua que se ha enfriado en el circuito, a la caldera. En la Figura 2.10 se muestra como son los colectores de distribución y sus elementos.

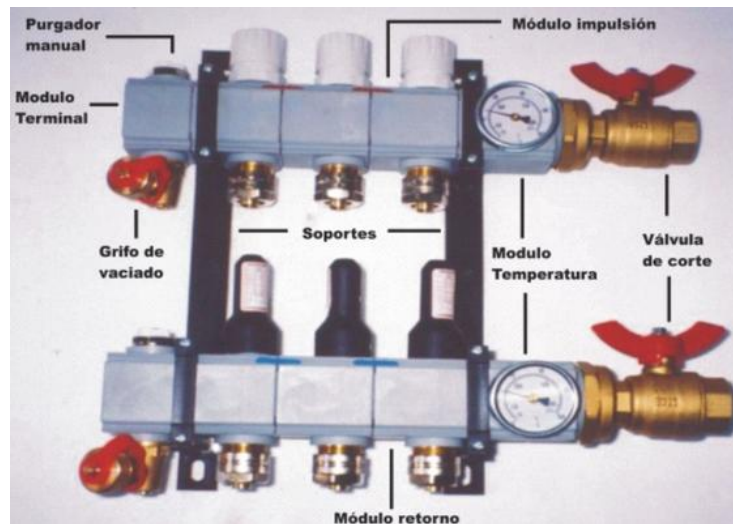


Figura 2.10 Colector.

2.3.4 Elementos del sistema de control y regulación.

a) Elementos del sistema de control.

El óptimo rendimiento de un suelo radiante finalmente depende de cómo se controla el sistema. Un mayor control aumenta el confort y el ahorro de energía y reduce el coste de funcionamiento del suelo radiante. En función de la regulación (actuar sobre la temperatura del fluido caloportador) que se aplique al sistema, se pueden encontrar distintos aparatos de control, como se expone continuación:

- Sistema de control en función de la temperatura interior: cuando se produce una variación de la temperatura ambiente de diseño en una determinada estancia, esta información le llega a un elemento de control. Estos son:
 - Cabezales electrotérmicos: Es un dispositivo eléctrico-automático de accionamiento de las válvulas que controlan la circulación hidráulica individual de los circuitos de tubos del sistema de suelo radiante. El conjunto cabezal-válvula tiene la función de controlar el paso de agua a través del circuito de tubos emisores del sistema, permitiendo regular la aportación térmica al local. Cuando el cabezal recibe alimentación eléctrica

está abierto y cuando se interrumpe la alimentación, se cierra. Este modelo es el más habitual.



Figura 2.11 Cabezal electrotrémico.

- Termostatos de ambiente: Es un dispositivo de acción manual que regula eléctricamente, en combinación con los actuadores electrotrémicos, la temperatura existente en el local donde está instalado. El termostato incorpora una rueda selectora para regular la temperatura.



Figura 2.12 Termostato ambiente.

- Unidad de control (caja de conexiones): Consiste en una caja electrónica de conexiones con alimentación eléctrica que permite conectar los termostatos con los cabezales electrotrémicos. Se utiliza como elemento de alimentación eléctrica y generador de la tensión de maniobra adecuada para la alimentación de los cabezales electrotrémicos. Dispone de un número determinado de entradas para conexiones de los termostatos y un número de salidas para alimentación de los cabezales electrotrémicos.

En la siguiente imagen puede verse un esquema de la caja de conexiones.

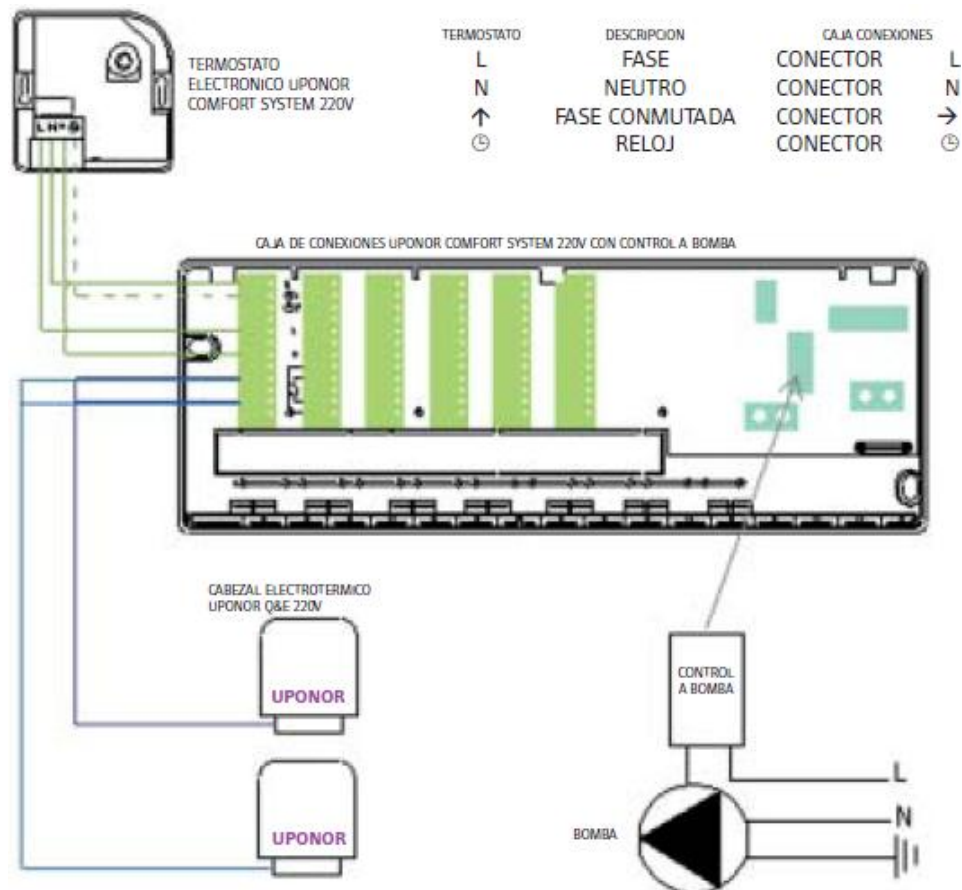


Figura 2.13 Esquema unidad de control.

La regulación se produce de la siguiente forma. Cuando la temperatura del local se sitúa por encima del valor ajustado en el termostato, los contactos del mismo estarán en posición de reposo, interrumpiendo la alimentación eléctrica del cabezal electrotermostático, montado en la válvula que controla el paso de agua por el circuito de ese local, en el colector.

Si la temperatura se sitúa por debajo de la temperatura fijada en el termostato, se actúan los contactos del termostato, alimentando al cabezal electrotermostático, con lo que se permite la circulación de agua por el circuito de tubos de ese local.

El termostato ambiente se sitúa dentro del local cuya temperatura controla. Debe colocarse a una altura entre 1,50 y 1,70 metros respecto al suelo, en una posición favorable para recibir las corrientes de aire, separado de aparatos que puedan falsear su medición.

- Sistema de control en función de la temperatura exterior: Se basa en mantener una temperatura del fluido caloportador en función de la temperatura exterior. En este sistema se fija una temperatura ambiente constante. Requiere de los siguientes aparatos para su funcionamiento:

- Sonda de temperatura exterior: Su función es informar de la temperatura existente en el ambiente exterior a la centralita de regulación. Debe instalarse sobre la cara exterior más fría del edificio (orientación norte) y estar protegida para evitar su deterioro.



Figura 2.14 Sonda temperatura exterior.

- Centralita de regulación: Es el elemento encargado de recibir las señales de las sondas de temperatura y, en base a los valores recibidos, actuar sobre la válvula de control de temperatura de impulsión (temperatura de salida del agua caliente del colector). Es el dispositivo que gobierna el funcionamiento del sistema de control. La centralita de control es un dispositivo electrónico dotado de un programa de control que le permite recibir señales de los elementos captadores (sondas), interpretar estas señales y emitir señales eléctricas sobre elementos actuadores, para corregir las desviaciones producidas y obtener el adecuado control.



Figura 2.15 Centralita de regulación.

- Sonda de temperatura de impulsión: Su función es informar de la temperatura existente en el circuito de distribución a la centralita de control. La sonda es el elemento que traduce o transforma la señal de temperatura en señal eléctrica.



Figura 2.16 Sonda de impulsión.

- Válvula de regulación: Se trata de una válvula de tres vías de accionamiento eléctrico, con caudal de salida fijo y temperatura variable, gobernada mediante señal eléctrica procedente de la centralita de control. Su función es actuar sobre la temperatura de impulsión de agua de forma que ésta coincida con la temperatura de consigna para impulsión a los circuitos emisores, obtenida a partir de la temperatura exterior.



Figura 2.17 Válvula de regulación.

- Sonda de ambiente: realiza un control de temperatura similar a la utilización de la sonda en la impulsión. La sonda exterior y la sonda ambiente envían información a la centralita de regulación, que comparará los dos valores, y dependiendo del resultado enviará una señal al actuador de la válvula de tres vías. Autoajuste de la temperatura ambiente del local en función de su ocupación.



Figura 2.18 Sonda temperatura ambiente.

Los elementos anteriormente indicados, tienen su principal función en conseguir una temperatura de impulsión adecuada hacia los tubos emisores, a través de la mezcla entre la impulsión de la caldera y el retorno de los circuitos emisores.

b) Grupo hidráulico o de impulsión.

Es un dispositivo de regulación formado por una bomba de circulación (para hacer circular el agua), una válvula de 3 vías, una válvula mezcladora de 3 vías (para mezclar el agua de retorno con la de ida), un estabilizador térmico y un termómetro. El grupo hidráulico de circulación recibe el agua que proviene de la caldera a alta temperatura. Mediante la mezcla de esta agua con el agua de retorno, el grupo regula la temperatura de salida con la ayuda de una cabeza termostática, sobre la que se hace directamente la regulación. Mediante este sistema se puede regular la temperatura de impulsión. Puede ir montado en el armario del colector o en una posición intermedia entre el colector y la caldera.



Figura 2.19 Grupo de impulsión.

2.3.5 Ventajas e inconvenientes.

A continuación se muestra una figura en la que se puede observar que el suelo radiante es el mejor sistema de calefacción que mejor se adapta a la curva ideal de calefacción:

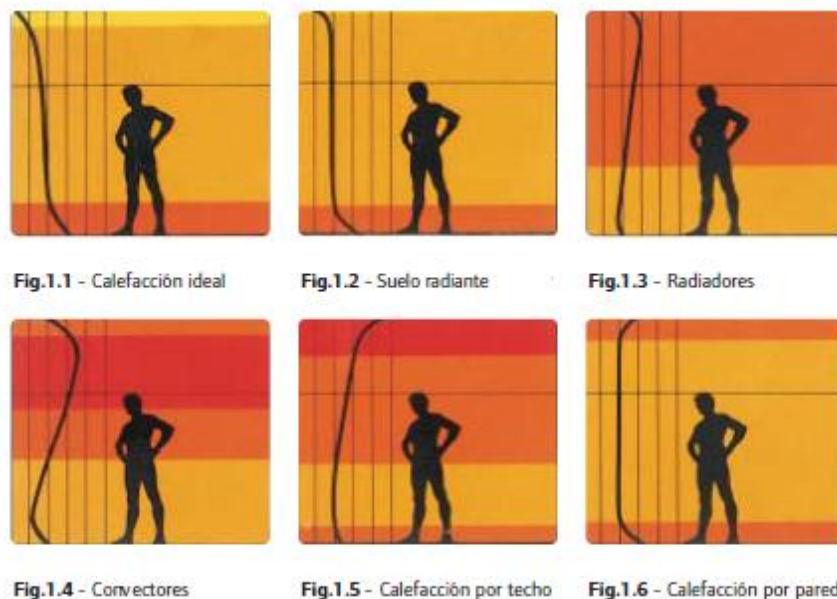


Figura 2.20 Distribución de temperaturas de los distintos sistemas de calefacción [6].

Además de esta ventaja, presenta muchas otras como son:

- **Confort y bienestar:** Se reduce el contraste térmico entre el suelo y el techo gracias a la disminución de la convección del aire, consiguiendo el tipo de calor ideal. La temperatura es uniforme en toda la superficie de cada estancia, es decir, es un sistema capaz de calentar todo el recinto.
- **Eficiencia energética** (ahorro de energía): Funciona con agua caliente a baja temperatura (35 a 45 °C), lo cual permite un considerable ahorro energético en comparación con otros sistemas de climatización (que operan con agua a 70°C aproximadamente).
- **Reversibilidad:** Puede funcionar como sistema de calefacción ó refrigeración, según se requiera.
- **Estética:** Se mejora la decorativa al ser un sistema integrado en el suelo, es invisible.
- **Saludable:** El bajo grado de humedad conseguido evita la aparición de ácaros y el desarrollo de alergias. Gracias a la ausencia de circulación de aire en la habitación, se reduce significativamente la cantidad de polvo. El sistema de suelo radiante está recomendado para locales que deben poseer buenas cualidades ambientales, como son hospitales, guarderías, etc.
- **Ecológico:** Dada la baja temperatura solicitada, la instalación de suelo radiante se puede combinar con fuentes de energía renovables a baja temperatura, como la energía solar y geotérmica, disminuyendo el consumo de los combustibles fósiles.
- **Compatibilidad:** Es compatible con cualquier tipo de suelo y fuente de energía.

Algunas desventajas:

- **Construcción:** Es un sistema en el que hay que realizar una gran reforma en la residencia (prácticamente de todo el suelo donde se requiere su instalación), además de una fuerte inversión económica inicial. Por ello, es más aconsejable en residencias de nueva construcción.
- **Averías:** Si se diera el caso de avería, se podría incluso levantar parte del suelo en donde resida el problema.
- **Tiempo:** Puede llevar varias horas alcanzar una temperatura óptima, al ser un sistema que tiene gran dependencia de la inercia térmica, que se define como la capacidad de un material de almacenar y ceder calor.

Este sistema de climatización es aplicable a una multitud de espacios, entre los cuales están:

- Viviendas
- Gimnasios
- Pistas deportivas
- Centros sanitarios y comerciales
- Carreteras
- Iglesias
- Calzadas
- Invernaderos
- Residencias
- Secado de soleras
- Granjas y ganaderías
- Mesas de cultivo
- Zonas de exterior

A continuación se nombran algunos de los edificios ilustres en España que cuentan con un sistema de calefacción por suelo radiante [6]:

- Iglesia de los Jerónimos (Madrid).
- Cúpula Multiusos (Valladolid).
- Observatorio Astrofísico de Javalambre (Teruel).
- Edificio Ágora en la Ciudad de las Ciencias (Valencia).

2.3.6 Parámetros de diseño.

Las instalaciones de suelo radiante deben proyectarse con especial atención a fin de obtener el máximo confort y el mínimo consumo de energía.

Es necesario conocer las características del edificio, en especial la orientación y el grado de aislamiento, con objeto de poder evaluar las pérdidas de calor por paredes, techos, puertas, ventanas, etc. Además las condiciones de confort pueden variar, dentro del mismo edificio, en función del tipo de local, según las exigencias y condiciones del propio ambiente.

Otro aspecto muy importante es el acabado superficial (revestimiento), ya que el tipo material (cerámica, parquet, moqueta, etc.) y su espesor influyen en la emisión térmica del suelo radiante y por tanto en su diseño y cálculo. En este sentido, además, es necesario proyectar instalaciones según especificaciones de la norma EN 1264, la cual se explicará detalladamente en el capítulo de “Diseño de Suelo Radiante”.

Una vez se hayan conocido todos los componentes que forman el sistema del suelo radiante determinado (variables de entrada), se procede a la determinación de los parámetros de diseño, los cuales se determinan en el Capítulo 4, siguientes:

- Temperatura ambiente interior θ_i .
- Temperatura de impulsión del circuito del suelo radiante θ_V .
- Salto térmico σ_j .
- Temperatura de retorno del circuito del suelo radiante θ_R .
- Temperatura media de la superficie del suelo $\theta_{F,m}$.
- Paso entre tubos T .
- Caudal de fluido m_H .

3. CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA Y DEMANDA DE ACS

3.1. Descripción de la vivienda

El domicilio se localiza en Miranda de Ebro, Burgos. Esta localidad posee una altitud sobre el nivel del mar de 474 metros, según la AEMET [7] (Agencia Estatal de Meteorología).

La vivienda está proyectada para ser habitada por una familia nuclear de 4 componentes.

La vivienda está formada por una sola planta y no tiene espacios colindantes de ningún tipo, por lo que todos sus muros de fachada, suelo y techo están en contacto con el exterior. Las distintas estancias que tiene la vivienda son: Dos dormitorios con las mismas características geométricas, un cuarto de baño (ó aseo), una cocina y un salón-comedor. En la Figura 3.1 puede verse como es el plano de la vivienda con sus orientaciones:

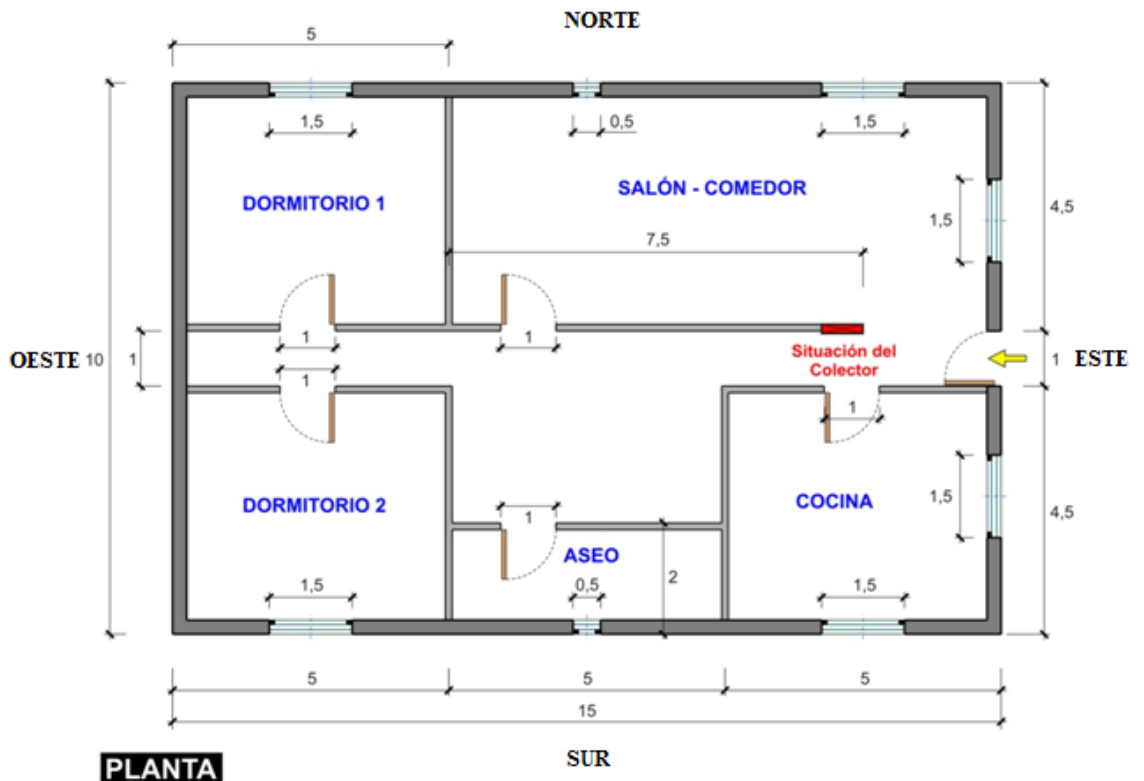


Figura 3.1 Plano de la vivienda.

En "Anexo" I se puede ver como es la estructura de la vivienda, con todas sus dimensiones geométricas. Los valores de superficie de cada estancia de la vivienda son:

Estancia	S (m²)
Dormitorio 1	22,5
Dormitorio 2	22,5
Cuarto de baño	10
Cocina	22,5
Salón	45

Tabla 3.1 Superficies de cada estancia.

3.2. Código Técnico de la Edificación.

El Código Técnico de la Edificación [8] (en adelante CTE) es el marco normativo español por el que se regulan las exigencias básicas de calidad que deben cumplir los edificios, incluidas sus instalaciones, para satisfacer los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad marcados por la ley.

Dichas exigencias básicas son cumplidas mediante un conjunto de normativas que componen el CTE, conocidos como Documentos Básicos (DB). En el presente proyecto se van a utilizar los siguientes documentos básicos: DB-HE (Documento Básico de Ahorro de Energía) y DB-HS (Documento Básico de Salubridad).

El propósito del DB-HE es proporcionar las reglas y procedimientos para cumplir con la obligación de ahorro de energía, consiguiendo un uso racional de la energía utilizada en edificios, reduciendo su consumo a unos límites adecuados y conseguir además que una porción de dicho consumo sea proporcionado por fuentes de energías renovable. Dentro de este DB se utiliza la parte 1, la cual se describe a continuación:

- Limitación de demanda energética (HE-1)

Este capítulo se dedica a garantizar que la demanda energética del edificio debida a las pérdidas y ganancias de calor a través de los cerramientos es igual o menor a unos valores considerados de referencia por el CTE para la zona climática en la que se encuentra la vivienda.

El CTE establece una serie de zonas climáticas, especificadas por una letra y un número. La letra hace referencia a la dureza del invierno (de A a E) y el número a la dureza del verano (de 1 a 4). Cada capital de provincia tiene una zona asignada, que para el resto de municipios se va endureciendo conforme aumenta la altitud sobre el nivel de su capital. Dichas capitales de provincia tienen, marcados por el CTE [8], una serie de valores de transmitancia límites.

Los valores límite de la transmitancia para la envolvente, con el fin de minimizar la potencia necesaria para climatizar el edificio, varían en función de la zona climática en la que se encuentre dicho edificio. Para Miranda de Ebro, población situada a una

altitud inferior 600 metros [7], se tiene por medio de la siguiente tabla, una zona climática D1:

Zonas climáticas Península Ibérica																		
Capital	Z.C.	Altitud	A4	A3	A2	A1	B4	B3	B2	B1	C4	C3	C2	C1	D3	D2	D1	E1
Albacete	D3	677										h < 450			h < 950			h ≥ 950
Alicante/Alacant	B4	7					h < 250					h < 700			h ≥ 700			
Almería	A4	0	h < 100				h < 250	h < 400				h < 800			h ≥ 800			
Ávila	E1	1054													h < 550	h < 850	h ≥ 850	
Badajoz	C4	168									h < 400	h < 450			h ≥ 450			
Barcelona	C2	1										h < 250			h < 450	h < 750	h ≥ 750	
Bilbao/Bilbo	C1	214											h < 250				h ≥ 250	
Burgos	E1	861															h < 600	h ≥ 600
Cáceres	C4	385									h < 600				h < 1050			h ≥ 1050
Cádiz	A3	0		h < 150				h < 450				h < 600	h < 850				h ≥ 850	
Castellón/Castelló	B3	18						h < 50				h < 500			h < 600	h < 1000		h ≥ 1000
Ceuta	B3	0						h < 50										
Ciudad Real	D3	630									h < 450	h < 500			h ≥ 500			

Tabla 3.2 Zonas climáticas [8].

Para esta zona climática tenemos los siguientes valores límite de transmitancia:

D.2.13 ZONA CLIMÁTICA D1

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	$U_{Mlim}: 0,66 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de suelos	$U_{Slim}: 0,49 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de cubiertas	$U_{Clim}: 0,38 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Factor solar modificado límite de lucernarios	$F_{Llim}: 0,36$

% de huecos	Transmitancia límite de huecos $U_{Hlim} \text{ W/m}^2 \text{ K}$				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}					
	N/NE/NO	E/O	S	SE/SO	Baja carga interna			Alta carga interna		
					E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,0	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,5	2,9	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 31 a 40	2,2	2,6	3,4	3,4	-	-	-	0,54	-	0,58
de 41 a 50	2,1	2,5	3,2	3,2	-	-	-	0,45	-	0,49
de 51 a 60	1,9	2,3	3,0	3,0	-	-	-	0,40	0,57	0,44

Tabla 3.3 Transmitancias límite [8].

El procedimiento consiste en comparar el edificio que se quiere estudiar con un edificio de referencia, (que se define con la misma forma, tamaño, orientación, zonificación interior y uso de cada espacio que el edificio en estudio), que la normativa establece como válido, debiéndose obtener resultados iguales o mejores. Para cumplir con las exigencias del capítulo, es necesario que cada uno de los cerramientos (muros, techos, suelos...) que forman la envolvente del edificio cumplan con un valor determinado de transmitancia máxima

La envolvente del edificio está formada por el conjunto de cerramientos que separan los espacios habitables con el exterior (aire o terreno u otro edificio) y por todas las particiones interiores que limitan los espacios habitables con los espacios no habitables que a su vez estén en contacto con el ambiente exterior. Es destacable la presencia de puentes térmicos en la envolvente del edificio, que son las zonas del edificio en las que se evidencia una variación de la uniformidad de construcción.

Un buen diseño de la envolvente es fundamental para minimizar la potencia térmica necesaria para mantener el ambiente interior del edificio en condiciones confortables. En la siguiente figura, de modo genérico, se muestra la tipología de cerramiento de una envolvente de edificio:

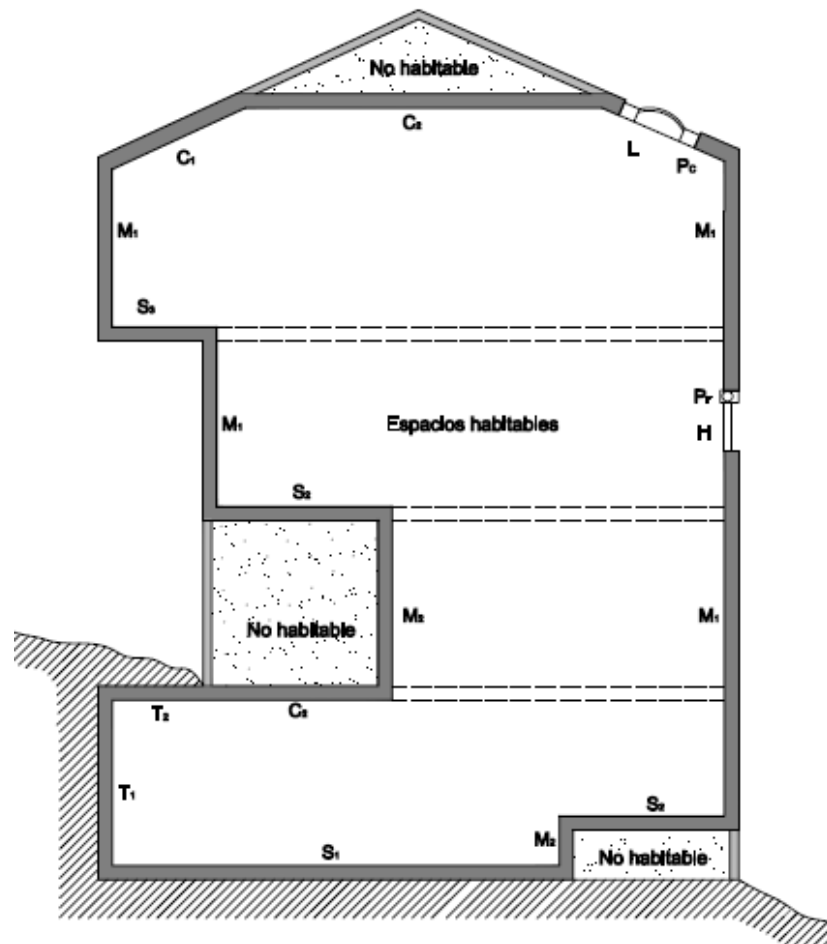


Figura 3.2 Esquema de la envolvente [8].

Por otro lado, del DB-HS, perteneciente al CTE, se hace uso específico del DB-HS3, por lo que se describe brevemente para que se emplea. El objetivo de este documento es el de asegurar la calidad del aire interior de la vivienda, mediante ventilación. Para ello debe asegurarse el cumplimiento de los caudales de ventilación mínimos exigidos para los distintos locales que forman la vivienda, que varía en función del número de personas que habitan en ella. Este documento exige que el aire deba circular de las estancias secas a las húmedas. Para ello, los dormitorios, salas de estar y comedores deben disponer de aberturas de admisión; cocinas, aseos y cuartos

de baño deben tener aberturas de extracción. Como el aire que entra debe ser igual al aire que sale, el caudal de ventilación mínimo exigido será el mayor entre los caudales de admisión/extracción.

3.3 Formulación para el cálculo de la transmitancia U .

La transmitancia es una medida física que da un valor sobre el aislamiento de un cerramiento. También se puede definir como el inverso de la resistencia térmica ó como la cantidad de energía unitaria que atraviesa, en la unidad de tiempo, una unidad de superficie (con su correspondiente espesor) de un elemento constructivo de caras plano paralelas cuando entre dichas caras hay un gradiente térmico de valor unidad. Matemáticamente se define como [9]:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{int}} + \sum \frac{e_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_{ext}}} \quad (3.1)$$

Siendo,

- U : transmitancia térmica ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$);
- e_i : El espesor de la capa (m);
- λ_i : La conductividad térmica del material que compone la capa ($\frac{W}{m \cdot K}$);
- h_{int} : Coeficiente superficial de transmisión de calor interior. ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$);
- h_{ext} : Coeficiente superficial de transmisión de calor exterior. ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$).

Y donde la resistencia térmica total [9] es:

$$R_t = \frac{1}{h_i} + \sum \frac{e_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_e} \quad (3.2)$$

Dependiendo de cuál sea el tipo de transferencia de calor se encuentra con resistencias térmicas de conducción y de convección.

La de conducción [9] es igual:

$$R_i = \frac{e_i}{\lambda_i} \quad (3.3)$$

La de convección [9] es:

$$R_i = \frac{1}{h_i} \quad (3.4)$$

Por lo que en un sistema con ambos tipos de transferencia de calor, la transmitancia se define como:

$$U = \frac{1}{R_t} \quad (3.5)$$

3.4 Cálculo de la transmitancia U de la envolvente de la vivienda.

Los distintos cerramientos que componen la vivienda en estudio son:

- a) Muros de fachada (M_1).
- b) Cubierta (C_1).
- c) Suelo (S_1).
- d) Puertas.
- e) Ventanas (H).

Hay que definir los materiales y dimensiones de cada cerramiento para poder calcular su resistencia térmica y U . Se van a utilizar dos documentos para su cálculo: el CTE [8], que ofrece un documento de apoyo para su cálculo, denominado "Cálculo de parámetros característicos de la envolvente" en el que se pueden encontrar tablas con los valores de las resistencias térmicas de convección.

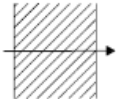
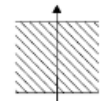
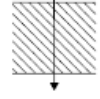
Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		R_{se}	R_{si}
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo Horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente (Techo)		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente (Suelo)		0,04	0,17

Tabla 3.4 Resistencias de convección [8].

La norma básica NBE-CT-79 [10] se utiliza para obtener la resistencia térmica de las cámaras de aire, la temperatura del terreno y las conductividades de los materiales de construcción.

A continuación se procede al cálculo de las transmitancias de la envolvente de la vivienda. Después de su hay que verificar que su valor sea menor que el impuesto en el CTE [8].

a) Muros de fachada (M_1):

Los muros de fachada de la vivienda estarán compuestos por los siguientes materiales, de fuera hacia dentro:

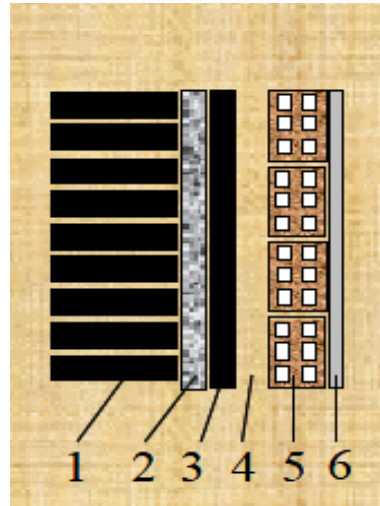


Figura 3.3 Composición de muro de fachada.

-Resistencias térmicas:

- Conducción: Las resistencias térmicas de conducción de cada capa se muestran en la siguiente tabla:

Material	Espesor (cm)	Conductividad (W/m·K)	Resistencia ($\frac{m^2 \cdot K}{W}$)
1 Ladrillo perforado	25	0,76	0,33
2 Mortero de cemento	1	1,4	0,0071
3 Poliuretano	3	0,023	1,3
4 Cámara de aire	2	-	0,18
5 Ladrillo hueco	11	0,49	0,224
6 Enlucido de yeso	1,5	0,3	0,05
			$R_{tc} = 2,08$

Tabla 3.5 Resistencias de conducción del muro de fachada.

- Convección:

$$R_{se} = 0,04 \frac{m^2 \cdot K}{W} ; R_{si} = 0,13 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Sumando las resistencias anteriores (convección y conducción) obtenemos una resistencia total de:

$$R_t = 2,25 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

La transmitancia a través de los muros se calcula como:

$$U_{M_1} = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{2,25} = 0,444 \frac{W}{m^2 \cdot K} < 0,66 \frac{W}{m^2 \cdot K} \rightarrow \text{Es válido}$$

b) Cubierta (C_1).

La cubierta de la vivienda esta compuesta por los siguientes materiales, de fuera hacia dentro:

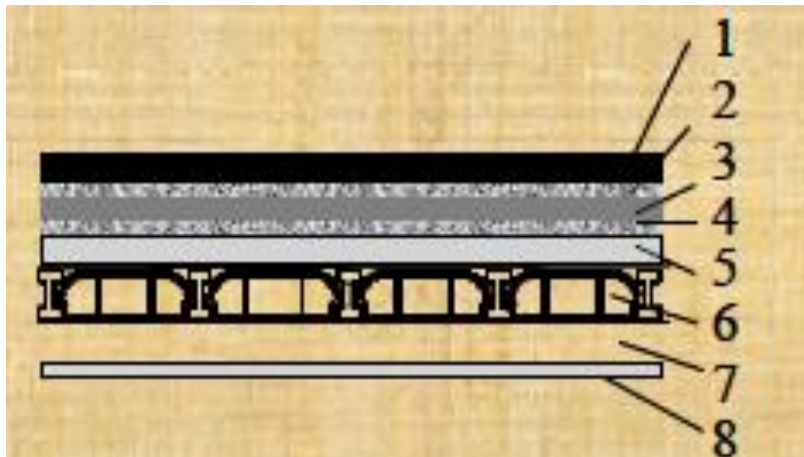


Figura 3.4 Composición del techo.

- Resistencias térmicas

- Conducción: Las resistencias térmicas de conducción de cada capa se muestran en la siguiente tabla:

Material	Espesor (cm)	Conductividad (W/m·K)	Resistencia ($\frac{m^2 \cdot K}{W}$)
1 Grava rodada	7	0,81	0,086
2 Mortero cemento	7	1,4	0,05
3 Lamina bituminosa	10	0,19	0,53
4 Mortero de cemento	7	1,4	0,05
5 Hormigón celular	25	0,34	0,73
6 Forjado de Hormigón	35	0,25	1,4
7 Cámara de aire	15	-	0,16
8 Techo escayola	10	0,3	0,33
-	-	-	$R_{tc} = 3,336$

Tabla 3.6 Resistencias de conducción del techo.

- Convección:

$$R_{se} = 0,04 \frac{m^2 \cdot K}{W} ; R_{si} = 0,1 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

Para la cubierta se obtiene una resistencia térmica total de:

$$R_t = 3,5 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

La transmitancia de la cubierta es:

$$U_{c1} = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{3,5} = 0,28 \frac{W}{m^2 \cdot K} < 038 \frac{W}{m^2 \cdot K} \rightarrow \text{Es válido}$$

c) Suelo (S_1):

El suelo de una vivienda que dispone de suelo radiante posee la siguiente distribución y composición de materiales:

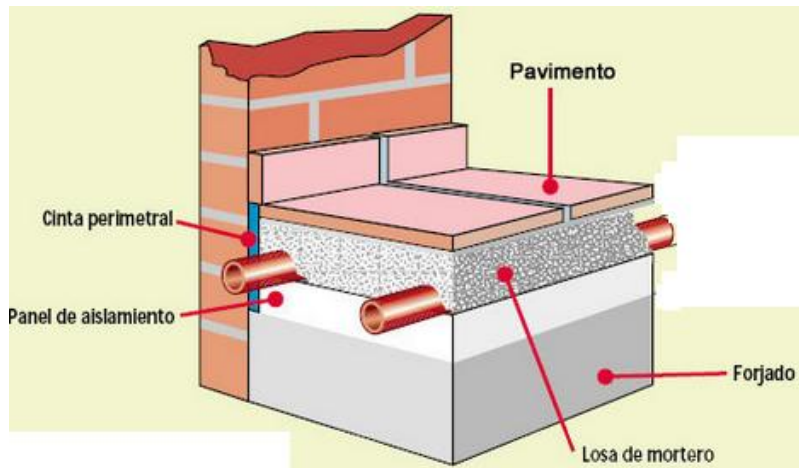


Figura 3.5 Composición del suelo.

- Conducción: Las resistencias térmicas de conducción de cada capa se muestran en la siguiente tabla:

Material	Espesor (cm)	Conductividad (W/m·K)	Resistencia ($\frac{m^2 \cdot K}{W}$)
Pavimento (Parquet)	1	0,2	0,05
Mortero cemento	5,5	1,4	0,039
Panel aislante (Poliestireno expandido)	5,5	0,033	1,67
Forjado	30	1	0,3
-	-	-	$R_{tc} = 2,05$

Tabla 3.7 Resistencias de conducción del suelo.

- Convección:

$$R_{si} = 0,17 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

La transmitancia del suelo es:

$$U_{s1} = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{2,27} = 0,44 \frac{W}{m^2 \cdot K} < 0,49 \frac{W}{m^2 \cdot K} \rightarrow \text{Es válido}$$

d) Puertas.

Para la vivienda se ha escogido una puerta de madera opaca

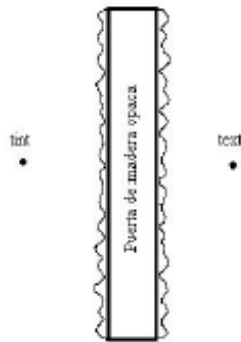


Figura 3.6 Composición de la puerta.

- Conducción: Conocido el coeficiente de transmisión térmica de la madera opaca, se halla su resistencia térmica de conducción:

$$U_{madera,opaca} = 3,5 \frac{W}{m^2 \cdot K} \rightarrow R_{puerta} = \frac{1}{3,5} = 0,29 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

- Convección:

$$R_{se} = 0,04 \frac{m^2 \cdot K}{W} ; R_{si} = 0,13 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

La transmitancia térmica de la puerta tiene un valor de:

$$U_{puerta} = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{0,456} = 2,19 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

e) Ventanas (H).

Están compuestas por un doble acristalamiento con cámara de aire en su interior:



Figura 3.7 Composición de la ventana.

- Conducción: Las resistencias térmicas de conducción de cada capa se muestran en la siguiente tabla:

Material	Espesor (cm)	Conductividad (W/m·K)	Resistencia ($\frac{m^2 \cdot K}{W}$)
Vidrio	0,4	0,95	0,0042
Cámara de aire	0,6	0,023	0,261
Vidrio	0,5	0,95	0,0042
-	-	-	$R_{tc} = 0,27$

Tabla 3.8 Resistencias de conducción de la ventana.

- Convección:

$$R_{se} = 0,04 \frac{m^2 \cdot K}{W} ; R_{si} = 0,13 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

La ventana tiene una transmitancia de:

$$U_H = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{0,46} = 2,28 \frac{W}{m^2 \cdot K} < 3,5 \frac{W}{m^2 \cdot K} \rightarrow \text{Es válido}$$

Se ha obtenido que todos los muros de la vivienda tienen un porcentaje de huecos entre 0 – 10% para todas las orientaciones, por lo que de la Tabla 3.3 se obtiene el valor límite anterior.

3.5. Cálculo de coeficiente K_G de la vivienda

El parámetro K_G de una vivienda es la media ponderada de las distintas transmitancias de los cerramientos que envuelven el edificio. Su cálculo se realiza conforme a lo indicado en la NBE-CT-79 [10].

Las normas de aislamiento térmico que deben cumplir individualmente los elementos estructurales de cierre de los edificios (techos, muros y suelos) proporcionan las exigencias relativas que deben ser satisfechas para garantizar unas condiciones ambientales interiores de bienestar dadas, así como evitar las condensaciones sobre los paramentos. Sin embargo, estas exigencias no tienen en cuenta el consumo de la energía necesaria para la consecución de aquellos niveles de confortabilidad térmica. Para cubrir este aspecto se define un coeficiente global de transmisión de calor del edificio, K_G . A mayores valores de los coeficientes de transmisión (U) y por consiguiente el del K_G , mayores son las pérdidas de calor a través de los cerramientos del edificio, o lo que es lo mismo, más grande es la cantidad de energía consumida para calentar el edificio y mantenerlo en las condiciones de proyecto prefijadas. Valores bajos de K_G suponen un buen nivel de aislamiento en el edificio y menores pérdidas de calor en consecuencia.

Por ende, si el edificio tuviera un valor del coeficiente global K_G superior del máximo tolerado, sería obligatorio emplear técnicas de aislamiento con el objetivo de reducir su K_G por debajo del máximo permitido para poder asegurar el buen comportamiento del edificio de cara a ser climatizado. Los valores máximos de K_G , en función del factor de forma del edificio f_f , de la zona climática y del tipo de energía empleada en la calefacción, se dan en la tabla;

Tipo de energía para calefacción	Factor forma $f(m^{-1})$	Zona climática				
		A	B	C	D	E
Caso I Combustibles sólidos líquidos o gaseosos	≤ 0.25	2.10(2.45)	1.61(1.89)	1.40(1.61)	1.26(1.47)	1.19(1.40)
	≥ 1.00	1.20(1.40)	0.92(1.08)	0.80(0.92)	0.72(0.84)	0.68(0.80)
Caso II Edificios sin calefacción o calefactados con energía eléctrica directa por efecto Joule	≤ 0.25	2.10(2.45)	1.40(1.61)	1.05(1.19)	0.91(1.05)	0.77(0.91)
	≥ 1.00	1.20(1.40)	0.80(0.92)	0.60(0.68)	0.52(0.60)	0.45(0.52)

Tabla 3.9 Valores límites K_G [10].

En esta tabla se recogen los valores máximos de K_G en $\frac{Kcal}{m^2 \cdot h} \left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$. Para Miranda de Ebro, se tiene una zona climática D [10].

En primer lugar se debe calcular el factor de forma del edificio, pues en función de este parámetro se elige un valor de la Tabla 3.9 ó se emplea la formulación apropiada. Los valores de K_G la Tabla 3.9 están definidos para los valores límite de $f \leq 0,25 m^{-1}$ y $1 m^{-1} \leq f$. Para valores intermedios, se debe calcular como [10]:

$$K_G = a \cdot \left(3 + \frac{1}{f_f} \right) \quad (3.6)$$

Para la vivienda en estudio se calcula el factor f_f [10], que se expresa y tiene un valor:

$$f_f = \frac{S}{V_e} = 0,9 m^{-1} \quad (3.7)$$

Siendo,

- $S = 475 m^2$, suma de las superficies de cada uno de los elementos constructivos que delimitan el cerramiento del edificio.

- $V_e = 525 m^3$, volumen del edificio.

Se ha obtenido un valor de f_f entre 0,25-1, por lo que se aplica la ecuación 3.6. Es necesario conocer el coeficiente a , cuyo valor se obtiene de la siguiente tabla:

Tipo de energía para calefacción	Zona climática				
	A	B	C	D	E
Caso I Combustibles sólidos líquidos o gaseosos	0.30(0.35)	0.23(0.27)	0.20(0.23)	0.18(0.21)	0.17(0.20)
Caso II Edificios sin calefacción o calefactados con energía eléctrica directa por efecto Joule	0.30(0.35)	0.20(0.23)	0.15(0.17)	0.13(0.15)	0.11(0.13)

Tabla 3.10 Valores a según tipo de energía empleada [10].

Esta tabla contiene los valores de a en $\frac{Kcal}{m^3 \cdot h} \left(\frac{W}{m^3 \cdot K} \right)$. En el caso en estudio $a = 0,21 \frac{W}{m^3 \cdot K}$ obteniendo un valor límite de:

$$K_G = 0,86 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Conocido el valor límite de K_G , se calcula dicho valor para la vivienda en estudio mediante [10];

$$K_G = \frac{\sum U_e \cdot S_e + 0,5 \cdot \sum U_n \cdot S_n + 0,8 \cdot \sum U_{C_1} \cdot S_{C_1} + 0,5 \cdot \sum U_{S_1} \cdot S_{S_1}}{\sum S_e + \sum S_n + \sum S_{C_1} + \sum S_{S_1}} \quad (3.8)$$

Donde:

U_e : Transmitancia correspondiente a cerramientos verticales en contacto con el ambiente exterior. Este parámetro engloba a muros de fachada, ventanas y puertas.

U_n : Transmitancia correspondiente a cerramientos de separación con otros edificios o con locales no calefactados. En la vivienda en estudio se desprecia pues no se da el caso.

S_e : Superficie de cerramientos en contacto con el ambiente exterior. Engloba a muros de fachada, ventanas y puertas.

S_n : Superficie de cerramientos de separación con otros edificios o con locales no calefactados. En la vivienda en estudio se desprecia pues no se da el caso.

Sus valores se muestran a continuación:

$$U_{M_1} = 0,444 \frac{W}{m^2 \cdot K} ; U_H = 2,28 \frac{W}{m^2 \cdot K} ; U_{puerta} = 2,19 \frac{W}{m^2 \cdot K} ;$$

$$U_{C_1} = 0,28 \frac{W}{m^2 \cdot K} ; U_{S_1} = 0,44 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$S_{M_1,A} = 30 \text{ m}^2$; $S_{M_1,B} = S_{M_1,C} = 49,125 \text{ m}^2$; $S_{M_1,D} = 35 \text{ m}^2$; $S_{H,grande} = 1,5 \text{ m}^2$
(Existen 6 ventanas de este tipo)

$S_{H,pequeña} = 0,375 \text{ m}^2$ (Existen 2 ventanas de este tipo) ; $S_{puerta} = 2 \text{ m}^2$

$$S_{C_1} = S_{S_1} = 150 \text{ m}^2$$

Sustituyendo los valores en la ecuación arriba indicada obtenemos un valor de:

$$K_G = 0,343 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Comparando los valores obtenidos:

$$K_G = 0,86 \frac{W}{m^2 \cdot K} > 0,343 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Se verifica que cumple con la restricción.

3.6 Cálculo de cargas térmicas.

Antes de comenzar con el cálculo de cargas térmicas, es necesario conocer las condiciones exteriores e interiores. Se muestran a continuación:

➤ Condiciones exteriores

Para mantener constante la temperatura de un local debe igualarse en cada instante la potencia térmica que proporciona el sistema de calefacción con la pérdida de calor. Por lo tanto, la potencia térmica que se demanda a los emisores de calor en cada instante es variable ya que depende de las condiciones exteriores en cada momento del día y del año.

En el presente proyecto se ha empleado la Norma UNE 100001 [11] para la obtención de la temperatura del ambiente exterior más desfavorable en la provincia de Burgos en general. Dicha temperatura tiene el siguiente valor:

$$T_{ext} = -7^{\circ}\text{C}$$

La temperatura del terreno, según NBE-CT-79 [10] es:

$$T_{terreno} = 6^{\circ}\text{C}$$

➤ Condiciones de diseño interiores.

Las condiciones interiores para la vivienda se han obtenido de la norma UNE-EN-1264 [12], que indica que la temperatura de confort para un sistema de calefacción por suelo radiante es de:

$$T_{int} = 20^{\circ}\text{C}$$

A excepción del cuarto de baño, cuya temperatura interior es:

$$T_{int,cb} = 24^{\circ}\text{C}$$

A la vista de las condiciones exteriores e interiores, el salto térmico, para las estancias distintas del cuarto de baño, entre el interior de la vivienda y exterior de la misma, para el día mas frio tiene un valor de:

$$dT = 27^{\circ}\text{C}$$

El salto térmico entre el interior de la vivienda y el exterior para los cuartos de baños es de:

$$dT_{cb} = 31^{\circ}\text{C}$$

El conocimiento de las cargas térmicas de cada una de las estancias a calefactar es un paso previo para el dimensionado de la instalación. La carga térmica de una estancia indica las pérdidas energéticas (W), que deben ser compensadas por el sistema de calefacción para lograr las condiciones interiores de confort deseadas.

Las cargas térmicas se clasifican en exteriores e interiores. Las cargas térmicas exteriores están formadas por; cargas térmicas de transmisión, de renovación, de radiación, de infiltración y de inercia térmica. Las cargas térmicas interiores engloban a; personas y cualquier aparato que genera calor dentro de la vivienda, como pueden ser hornos, ordenadores, televisores, iluminación, etc.

En el presente proyecto, para el dimensionamiento del sistema de calefacción se han despreciado las cargas térmicas por radiación e interiores, ya que las mencionadas generan ganancias térmicas y disminuirían el valor de la potencia térmica necesaria para realizar una climatización adecuada. De esta manera se sitúa a la vivienda en el caso más desfavorable posible. Las temperaturas interior y exterior que se utilizarán son:

$$T_{int} = 20^{\circ}\text{C}$$

$$T_{int,cb} = 24^{\circ}\text{C}$$

$$T_{ext} = -7^{\circ}\text{C}$$

3.6.1. Carga térmica por transmisión.

Las pérdidas de calor por transmisión a través de los cerramientos es el factor principal en la determinación de la demanda calorífica de un local. Las pérdidas por transmisión se ocasionan debido a la presencia de una diferencia de temperaturas entre el interior de la vivienda y el ambiente exterior que le envuelve o bien entre un local calefactados y otro no calefactados. Se crea, por tanto, un flujo de calor en la dirección de la zona de mayor temperatura a la zona con menor temperatura, ya que se tiende al equilibrio térmico.

Su cálculo se realiza mediante la siguiente fórmula [13]:

$$Q_{transmisión} = U_{cerramiento} \cdot S_{cerramiento} \cdot (T_{int} - T_{ext}) \quad (3.9)$$

Donde:

- U : Transmitancia térmica del cerramiento $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$.
- $S_{\text{cerramiento}}$: Superficie del cerramiento que atraviesa (m^2).
- T_{int} : Temperatura ambiente interior (K)
- T_{ext} : Temperatura del ambiente exterior (K)

3.6.2 Carga térmica por renovación.

Toda vivienda debe disponer de un sistema de ventilación (natural, mecánico o híbrido) para asegurar la calidad el ambiente interior, que genera una carga térmica, que se refleja en la elevación de temperatura del aire exterior. Se calcula como [13]:

$$Q_{\text{renovación}} = q_v \cdot c_p \cdot \rho_{\text{aire}} \cdot (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}) \quad (3.10)$$

Donde:

- q_v : Caudal de ventilación mínimo exigido $\left(\frac{m^3}{s}\right)$. Se obtiene del DB-HS [8].
- ρ_{aire} = Densidad del aire $\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$.
- c_p : Calor específico del aire $\left(\frac{J}{K \cdot Kg}\right)$.

3.6.3 Carga térmica por infiltración.

Esta carga térmica consiste en las posibles filtraciones que puede tener nuestra vivienda debido a que no es hermético en puntos como las rendijas de las ventanas, de las puertas, etc. Como es muy costoso calcular ese dato, se estimará esta carga a un 30% de la de renovación.

$$Q_{\text{infiltración}} = 0,3 \cdot Q_{\text{renovación}} \quad (3.11)$$

3.6.4 Carga térmica por inercia térmica.

La instalación de calefacción no funciona las 24 horas del día (por la noche el sistema no funciona, pues está apagado). Durante este periodo la casa se enfría y por tanto hay que aportar una energía extra hasta alcanzar las condiciones de confort. Esta

energía adicional se conoce como carga térmica por inercia térmica, la cual se ha estimado como un 30% de la suma de las cargas térmicas por transmisión, renovación e infiltración:

$$Q_{\text{inercia térmica}} = (Q_{\text{infiltración}} + Q_{\text{renovación}} + Q_{\text{transmisión}}) \cdot 0,3 \quad (3.12)$$

3.6.5 Carga térmica total.

Es la suma de todas las cargas térmicas anteriores:

$$Q_T = Q_{\text{infiltración}} + Q_{\text{renovación}} + Q_{\text{transmisión}} + Q_{\text{inercia térmica}} \quad (3.13)$$

3.7 Resultados del cálculo de cargas térmicas máximas por estancias.

Se va a calcular la carga térmica, de acuerdo a la formulación del apartado 3.6, en cada estancia de la vivienda correspondiente al día más frío en cada estancia.

3.7.1 Carga térmica por transmisión.

La carga térmica por transmisión para cada estancia se calcula mediante la ecuación (3.9).

Los parámetros necesarios para su cálculo se expresan en la Tabla 3.11.

Estancia	U_{M_1} $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$	U_H $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$	U_{C_1} $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$	U_{S_1} $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$	U_{puerta} $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$	S_{M_1} (m ²)	S_H (m ²)	$S_{C_1} = S_{S_1}$ (m ²)	S_{puerta} (m ²)
Dormitorio 1	0,444	2,28	0,27	0,454	-	31,75	1,5	22,5	-
Dormitorio 2	0,444	2,28	0,27	0,454	-	31,75	1,5	22,5	-
Cuarto de baño	0,444	2,28	0,27	0,454	-	17,13	0,375	10	-
Cocina	0,444	2,28	0,27	0,454	-	30,25	3	22,5	-
Salón	0,444	2,28	0,27	0,454	2,19	47,38	1,875	45	2

Tabla 3.11 Parámetros de la envolvente.

Las cargas térmicas por transmisión en cada estancia se muestran en la siguiente tabla:

Estancia	Q_{M_1} (W)	Q_H (W)	Q_{C_1} (W)	Q_{S_1} (W)	Q_{puerta} (W)	$Q_{transmisión}$ (W)
Dormitorio 1	380,62	92,34	164,025	163,44	-	800,424
Dormitorio 2	380,62	92,34	164,025	163,44	-	800,424
Cuarto de baño	225,78	26,51	75,7	72,9	-	418,62
Cocina	362,64	184,68	164,025	163,44	-	874,78
Salón	568	207,765	328,05	326,88	118,26	1548,94
						4398,81

Tabla 3.12 Cargas térmicas por transmisión.

3.7.2 Carga térmica por renovación.

Sólo dispondrán de esta carga térmica las estancias que deban poseer aberturas de admisión, pues en las estancias que deben tener aberturas de extracción, el aire saliente ha alcanzado la temperatura interior de la vivienda por lo que no hay transferencia de calor, y consecuentemente no hay pérdidas térmicas, de ahí que no se considere la carga térmica en dichas estancias (aseo y cocina). Se procede al cálculo de dicha carga térmica, para ello se necesita conocer el caudal de ventilación mínimo exigido en cada estancia. La siguiente tabla del CTE HS3 [8] recoge dichos caudales de ventilación:

		Caudal de ventilación mínimo exigido q_v en l/s		
		Por ocupante	Por m ² útil	En función de otros parámetros
Locales	Dormitorios	5		
	Salas de estar y comedores	3		
	Aseos y cuartos de baño			15 por local
	Cocinas		2	50 por local ⁽¹⁾
	Trasteros y sus zonas comunes		0,7	
	Aparcamientos y garajes			120 por plaza
	Almacenes de residuos		10	

⁽¹⁾ Este es el caudal correspondiente a la ventilación adicional específica de la cocina (véase el párrafo 3 del apartado 3.1.1).

Tabla 3.13 Caudales de ventilación [8].

A continuación se calcula el caudal de ventilación mínimo para cada estancia de la vivienda. Para los dormitorios se tiene (habitan dos personas por dormitorio):

$$q_{v,dormitorios} = 5 \cdot 2 = 10 \frac{l}{s} = 0,01 \frac{m^3}{s} \quad (3.14)$$

Y para el salón se tiene el siguiente caudal de ventilación, bajo la suposición de que todas las personas habitan en el salón:

$$q_{v,salón} = 3 \cdot 4 = 12 \frac{l}{s} = 0,012 \frac{m^3}{s} \quad (3.15)$$

Como se menciona anteriormente, las estancias que deben tener aberturas de admisión son los dormitorios y el salón. Se muestra la siguiente tabla con los resultados:

Estancia	ρ (kg/m ³)	C_p (J/Kg·K)	q_v (m ³ /s)	$Q_{renovación}(W)$
Dormitorio 1	1,2	1012	0,01	327,89
Dormitorio 2	1,2	1012	0,01	327,89
Cuarto de baño	-	-	-	-
Cocina	-	-	-	-
Salón	1,2	1012	0,012	393,46
				$Q_{renovación,total} = 1049,24$

Tabla 3.14 Cargas térmicas por renovación.

3.7.3 Carga térmica máxima.

Los resultados obtenidos de la carga térmica total son:

Estancia	$Q_{transmisión}$ (W)	$Q_{renovación}$ (W)	$Q_{infiltración}$ (W)	$Q_{inercia\ térmica}$ (W)	$Q_{estancia, total}$ (W)
Dormitorio 1	800,424	327,89	98,36	368	1594,68
Dormitorio 2	800,424	327,89	98,36	368	1594,68
Cuarto de baño	418,62	-	-	125,59	544,2
Cocina	874,78	-	-	262,43	1137,21
Salón	1548,94	393,46	118,04	618,13	2644,2
					$Q_{máx} = 7491,3$

Tabla 3.15 Cargas térmicas totales.

Como se puede observar en la Tabla 3.18, se obtiene una carga máxima de calefacción de:

$$Q_{máx} = 7491,31 \text{ W}$$

3.8 Demanda de calefacción anual de la vivienda.

En el apartado anterior se calcularon las cargas térmicas de la vivienda para el día más frío. En el presente proyecto se ha establecido que el periodo de funcionamiento del sistema de calefacción está compuesto por los meses de Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero y Marzo. Se ha considerado un horario de calefacción desde las 06:00 horas a las 23:00 horas.

Para poder calcular la demanda de calefacción anual, se ha recurrido a un documento del CTE denominado "Climas de referencia" [14]. Este documento recoge todas las temperaturas hora a hora durante todos los días del año de las distintas zonas climáticas del territorio español. En el presente proyecto se seleccionan las correspondientes a la zona D1. En dicho documento y para el periodo de calefacción seleccionado, el rango de temperaturas exteriores oscila ente:

$$T_{máx} = 19,9^{\circ}\text{C}$$

$$T_{mín} = -5^{\circ}\text{C}$$

Para conocer la demanda de calefacción se ha realiza una simulación. La simulación de calefacción realizada consiste en obtener la carga térmica total por hora para un día determinado y así obtener la demanda diaria (KWh), como sigue a continuación:

$$Demanda(diaria) = \sum Q_t \quad (3.16)$$

En la tabla de "Anexos II" se expresan los resultados de demanda en KWh obtenidos para cada día del periodo de calefacción:

Una vez que se han obtenido las demandas diarias para todo el periodo de calefacción, se expresa la demanda anual de calefacción en función del día correspondiente como se observa en la siguiente gráfica:

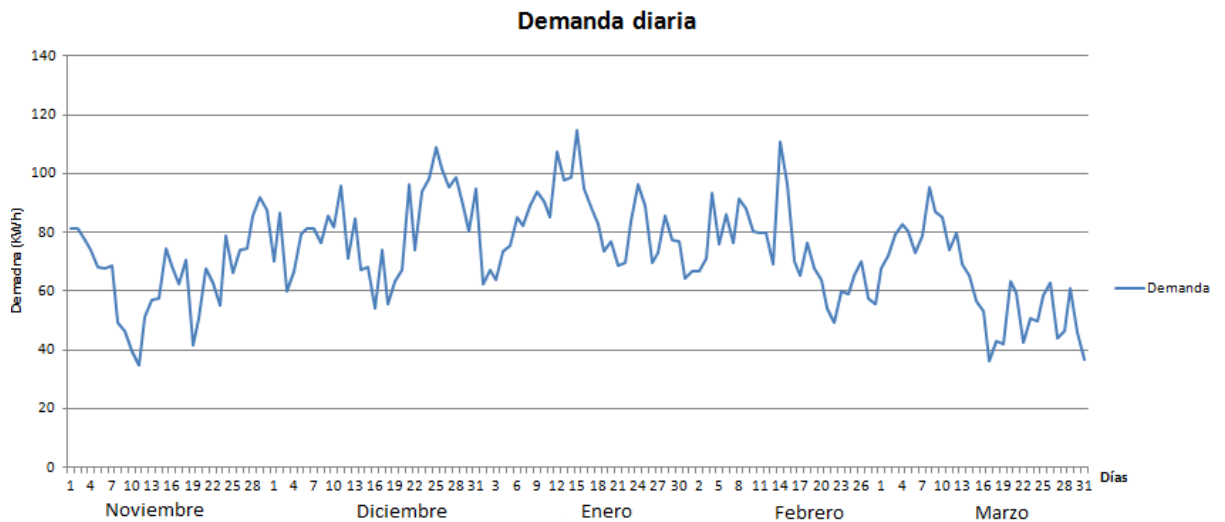


Figura 3.8 Demanda anual de calefacción.

En la gráfica anterior pueden observarse lo picos de demanda. El pico de demanda máximo corresponde al 15 de Enero y el mínimo al 9 de Noviembre. El sistema de calefacción produce la siguiente demanda anual:

$$Demanda(anual) = 11017,84 \text{ KWh}$$

3.9 Demanda de ACS anual de la vivienda.

Para poder calcular la demanda A.C.S. es necesario tener en cuenta el volumen de consumo diario y las temperaturas de consumo y de agua proveniente de la red. Dichos valores se obtienen de CTE HE4 [8], como se sigue a continuación:

- Temperatura de consumo: se establece una temperatura de consumo de 40°C.

- Temperatura de la red: se obtiene en función de la cada capital de provincia y en función del mes, mediante la siguiente tabla [8]:

Capital de provincia	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
A Coruña	10	10	11	12	13	14	16	16	15	14	12	11
Albacete	7	8	9	11	14	17	19	19	17	13	9	7
Alicante/Alicant	11	12	13	14	16	18	20	20	19	16	13	12
Amería	12	12	13	14	16	18	20	21	19	17	14	12
Ávila	6	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6
Badajoz	9	10	11	13	15	18	20	20	18	15	12	9
Barcelona	9	10	11	12	14	17	19	19	17	15	12	10
Bilbao/Bilbo	9	10	10	11	13	15	17	17	16	14	11	10
Burgos	5	6	7	9	11	13	16	16	14	11	7	6
Cáceres	9	10	11	12	14	18	21	20	19	15	11	9
Cádiz	12	12	13	14	16	18	19	20	19	17	14	12
Castellón/Castelló	10	11	12	13	15	18	19	20	18	16	12	11
Ceuta	11	11	12	13	14	16	18	18	17	15	13	12
Ciudad Real	7	8	10	11	14	17	20	20	17	13	10	7
Córdoba	10	11	12	14	16	19	21	21	19	16	12	10
Cuenca	6	7	8	10	13	16	18	18	16	12	9	7
Girona	8	9	10	11	14	16	19	18	17	14	10	9
Granada	8	9	10	12	14	17	20	19	17	14	11	8
Guadalajara	7	8	9	11	14	17	19	19	16	13	9	7
Huelva	12	12	13	14	16	18	20	20	19	17	14	12
Huesca	7	8	10	11	14	16	19	18	17	13	9	7
Jaén	9	10	11	13	16	19	21	21	19	15	12	9
Las Palmas de Gran Canaria	15	15	16	16	17	18	19	19	19	18	17	16
León	6	6	8	9	12	14	16	16	15	11	8	6
Lleida	7	9	10	12	15	17	20	19	17	14	10	7
Logroño	7	8	10	11	13	16	18	18	16	13	10	8
Lugo	7	8	9	10	11	13	15	15	14	12	9	8
Madrid	8	8	10	12	14	17	20	19	17	13	10	8
Málaga	12	12	13	14	16	18	20	20	19	16	14	12
Melilla	12	13	13	14	16	18	20	20	19	17	14	13
Murcia	11	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11
Ourense	8	10	11	12	14	16	18	18	17	13	11	9
Oviedo	9	9	10	10	12	14	15	16	15	13	10	9
Palencia	6	7	8	10	12	15	17	17	15	12	9	6
Palma de Mallorca	11	11	12	13	15	18	20	20	19	17	14	12
Pamplona/Iruña	7	8	9	10	12	15	17	17	16	13	9	7
Pontevedra	10	11	11	13	14	16	17	17	16	14	12	10
Salamanca	6	7	8	10	12	15	17	17	15	12	8	6
San Sebastián	9	9	10	11	12	14	16	16	15	14	11	9
Santa Cruz de Tenerife	15	15	16	16	17	18	20	20	20	18	17	16
Santander	10	10	11	11	13	15	16	16	16	14	12	10
Segovia	6	7	8	10	12	15	18	18	15	12	8	6
Sevilla	11	11	13	14	16	19	21	21	20	16	13	11
Soria	5	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6
Tarragona	10	11	12	14	16	18	20	20	19	16	12	11
Teruel	6	7	8	10	12	15	18	17	15	12	8	6
Toledo	8	9	11	12	15	18	21	20	18	14	11	8
Valencia	10	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11
Valladolid	6	8	9	10	12	15	18	18	16	12	9	7
Vitoria-Gasteiz	7	7	8	10	12	14	16	16	14	12	8	7
Zamora	6	8	9	10	13	16	18	18	16	12	9	7
Zaragoza	8	9	10	12	15	17	20	19	17	14	10	8

Tabla 3.16 Temperaturas medias diarias del agua de la red [8].

- Volumen de consumo diario, C_{agua} : se obtiene de la siguiente tabla, en función del uso del edificio y para una temperatura de referencia de 60°C [8].

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

Tabla 3.17 Consumo diario de agua según tipo de edificio [8].

Los volúmenes de consumo de la Tabla 3.20 están calculados para una temperatura de referencia de de 60°C (0,028 m³/día), pero para la vivienda en estudio se ha establecido una temperatura de consumo de 40°C. Para los casos en que la temperatura de consumo sea diferente a la de referencia, como es el caso, el CTE [10] proporciona la siguiente fórmula para el cálculo del volumen de consumo diario para un determinado mes:

$$C_{agua,i}(T) = C_{agua,i}(60^{\circ}\text{C}) \cdot \frac{60 - T_{red,i}}{T_{consumo} - T_{red,i}} \quad (3.17)$$

Donde:

- $C_{agua,i}(T)$: Consumo de ACS para el mes i a la temperatura de consumo seleccionada ($\frac{m^3}{día}$).

- $C_{agua,i}(60^{\circ}\text{C})$: Consumo de ACS para el mes i a la temperatura de 60°C ($\frac{m^3}{día}$). Tiene un valor de $0,028 \frac{m^3}{día}$.

- $T_{red,i}$: Temperatura media del agua de la red en el mes i (°C).

La potencia térmica para calentar el agua en un determinado mes se calcula como [15]:

$$Q_{ACS,mensual} = C_{agua,i} \cdot \rho_{agua} \cdot C_{p,agua} \cdot (T_{consumo} - T_{red,i}) \cdot n^{\circ}días \quad (3.18)$$

Los resultados se pueden observar en la próxima tabla:

Meses	Días	$T_{red,i}(^{\circ}C)$	$C_{agua,i} \left(\frac{m^3}{día}\right)$	$Q_{ACS,mensual}(KJ/mes)$	$Q_{diario}(W)$	Demanda mensual(KWh)
Enero (1)	31	5	0,176	798212,8	298,02	221,72
Febrero (2)	28	6	0,178	707857,92	292,6	196,62
Marzo (3)	31	7	0,18	769186,88	287,18	213,66
Abril (4)	30	9	0,1848	716284,8	276,34	198,97
Mayo(5)	31	11	0,1898	711135,04	265,50	197,53
Junio (6)	30	13	0,195	660105,6	254,67	183,36
Julio (7)	31	16	0,2055	638570,24	238,41	177,38
Agosto (8)	31	16	0,205	638570,24	238,41	177,38
Septiembre (9)	30	14	0,198	646060,8	249,25	179,46
Octubre (10)	31	11	0,189	711135,04	265,50	197,53
Noviembre (11)	30	7	0,18	744374,4	287,18	206,77
Diciembre (12)	31	6	0,178	783699,84	292,6	217,69
						<i>Demanda (anual) =2368,1</i>

Tabla 3.18 Demanda mensual de ACS en KWh.

Se obtiene una demanda anual de ACS igual a:

$$***Demanda(anual) = 2368,11 KWh***$$

A continuación se puede observar la demanda mensual de ACS:

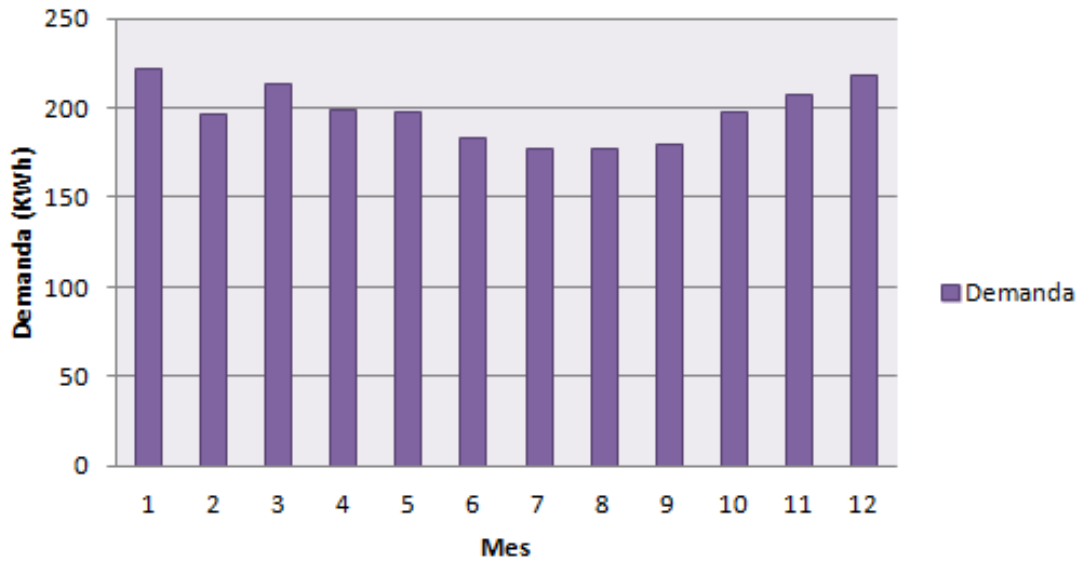


Figura 3.9 Demanda mensual de ACS.

3.10 Potencia térmica requerida para ACS.

Para determinar la potencia de la caldera, es necesario conocer como se suministra ACS en la vivienda. Existen dos formas: la primera es mediante la producción instantánea de ACS y la segunda, mediante un depósito de acumulación de ACS. En el presente proyecto se ha optado por una caldera con producción de ACS de forma instantánea. Con el objetivo de elegir la caldera necesaria para la vivienda, ha de calcularse la potencia térmica necesaria para ACS. Se determina mediante [15]:

$$Q_{ACS} = k_v \cdot q_{inst} \cdot \rho_{agua} \cdot C_{p,agua} \cdot (T_{consumo} - T_{red,minima}) \quad (3.19)$$

Donde:

- q_{inst} = Caudal instantáneo (m^3/s).

- k_v : Factor de simultaneidad.

Para su cálculo, se necesita conocer el valor de los siguientes parámetros:

- Caudales instantáneos: es el caudal que se determina en un instante determinado. La instalación debe proporcionar los siguientes caudales instantáneos, según CTE HS4 [8], a los distintos aparatos y equipos de suministro de agua:

Tipo de aparato	Caudal instantáneo mínimo de agua fría [dm ³ /s]	Caudal instantáneo mínimo de ACS [dm ³ /s]
Lavamanos	0,05	0,03
Lavabo	0,10	0,065
Ducha	0,20	0,10
Bañera de 1,40 m o más	0,30	0,20
Bañera de menos de 1,40 m	0,20	0,15
Bidé	0,10	0,065
Inodoro con cisterna	0,10	-
Inodoro con fluxor	1,25	-
Urinarios con grifo temporizado	0,15	-
Urinarios con cisterna (c/u)	0,04	-
Fregadero doméstico	0,20	0,10
Fregadero no doméstico	0,30	0,20
Lavavajillas doméstico	0,15	0,10
Lavavajillas industrial (20 servicios)	0,25	0,20
Lavadero	0,20	0,10
Lavadora doméstica	0,20	0,15
Lavadora industrial (8 kg)	0,60	0,40
Grifo aislado	0,15	0,10
Grifo garaje	0,20	-
Vertedero	0,20	-

Tabla 3.19 Caudales instantáneos [8].

El caudal instantáneo se determina mediante la suma de todos los caudales correspondientes a cada punto de consumo que posea la vivienda. En la vivienda se tiene: un lavamanos, una ducha, un fregadero doméstico, un lavavajillas doméstico y una lavadora doméstica. Se tiene entonces:

$$q_{instantaneo} = 0,03 + 0,1 + 0,1 + 0,1 + 0,15 = 0,48 \text{ dm}^3/\text{s} \quad (3.20)$$

- **Factor de simultaneidad:** Factor de corrección de potencia necesaria para producir ACS, pues es remoto el caso de que todos los puntos de consumo funcionen a la par. Su cálculo se realiza a criterio del proyectista, dentro de unos valores aceptables, pues no se debe tener un valor muy pequeño (ocasionaría que en un consumo punta la caldera no fuera capaz de suministrar ACS a los puntos de consumo prioritarios, como son por ejemplo la ducha y fregadero) y tampoco muy grande (sobredimensionaría en exceso el sistema de producción de calor). En el proyecto se ha estimado un valor de:

$$k_v = 0,312$$

Con este valor seleccionado se hace frente al caudal de ACS en el punto de consumo crítico de la vivienda (0,15 dm³/s).

- **Temperatura de uso:** se establece como referencia una temperatura de uso de 40°C en los puntos de consumo.

- Temperatura de la red: se obtiene de la Tabla 3.19 [8]. Para la determinación de la potencia máxima de ACS, ha de elegirse el valor más bajo de temperatura para Burgos.

$$T_{red,minima} = 5^{\circ}\text{C}$$

Conociendo todos los parámetros, se obtiene una potencia térmica necesaria, aplicando la ecuación 3.19, de:

$$Q_{ACS} = 21909,9 \text{ W}$$

4. DISEÑO DE SUELO RADIANTE

4.1. Procedimiento de diseño mediante la Norma UNE 1264. Algoritmo de cálculo.

Una vez que se conocen las necesidades térmicas de la vivienda, se procede al dimensionamiento del sistema de suelo radiante necesario para satisfacer la demanda térmica.

Su diseño se realiza en base a la norma UNE-EN-1264 [12], una norma que establece el cálculo de los parámetros de diseño operativos: temperaturas de funcionamiento, así como los límites de dichas temperaturas según los límites fisiológicos de las personas, y caudales de circulación, como se verá más adelante. Esta norma es de aplicación a sistemas de calefacción y refrigeración de circulación de agua u otro fluido calefactor integrados en superficies de viviendas o similares a estas (oficinas, tiendas, colegios, etc.).

Antes de comenzar el procedimiento de diseño del suelo radiante, se enumeran las hipótesis que se han considerado. Son:

- 1) En el presente proyecto se ha establecido una configuración de tubos (los cuales son de polietileno reticulado) tipo A, la cual consiste en un sistema con los tubos totalmente integrados en el pavimento. La configuración anterior y los parámetros característicos del suelo para esta configuración pueden observarse en la siguiente figura:

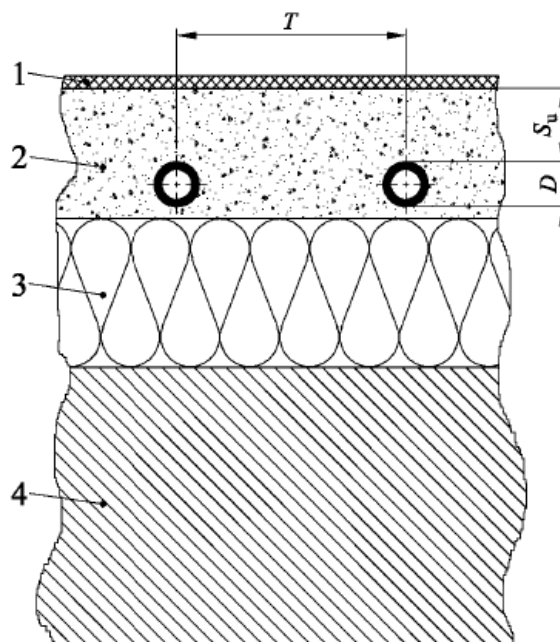


Figura 4.1 Configuración tipo A [12].

Donde:

1 Revestimiento del suelo, cuya resistencia térmica es $R_{\lambda,B} \left(\frac{m^2 \cdot K}{W} \right)$.

2 Capa de mortero de cemento (pavimento) con conductividad $\lambda_E \left(\frac{W}{m \cdot K} \right)$.

3 Capa de aislamiento (poliestireno expandido).

4 Base estructural (Forjado)

T : Paso entre tubos (m).

s_U : Espesor de la capa de mortero de cemento por encima del tubo (m).

D : Diámetro exterior del tubo (m). También debe considerarse el espesor del tubo s_R (m) y la conductividad térmica del tubo $\lambda_R \left(\frac{W}{m \cdot K} \right)$.

Para la vivienda en estudio, se tienen los siguientes valores de los parámetros característicos del suelo:

$R_{\lambda,B} \left(\frac{m^2 \cdot K}{W} \right)$	0,05
$\lambda_E \left(\frac{W}{m \cdot K} \right)$	1,2
s_U (m)	0,035
D (m)	0,02
s_R (m)	0,002
$\lambda_R \left(\frac{W}{m \cdot K} \right)$	0,35

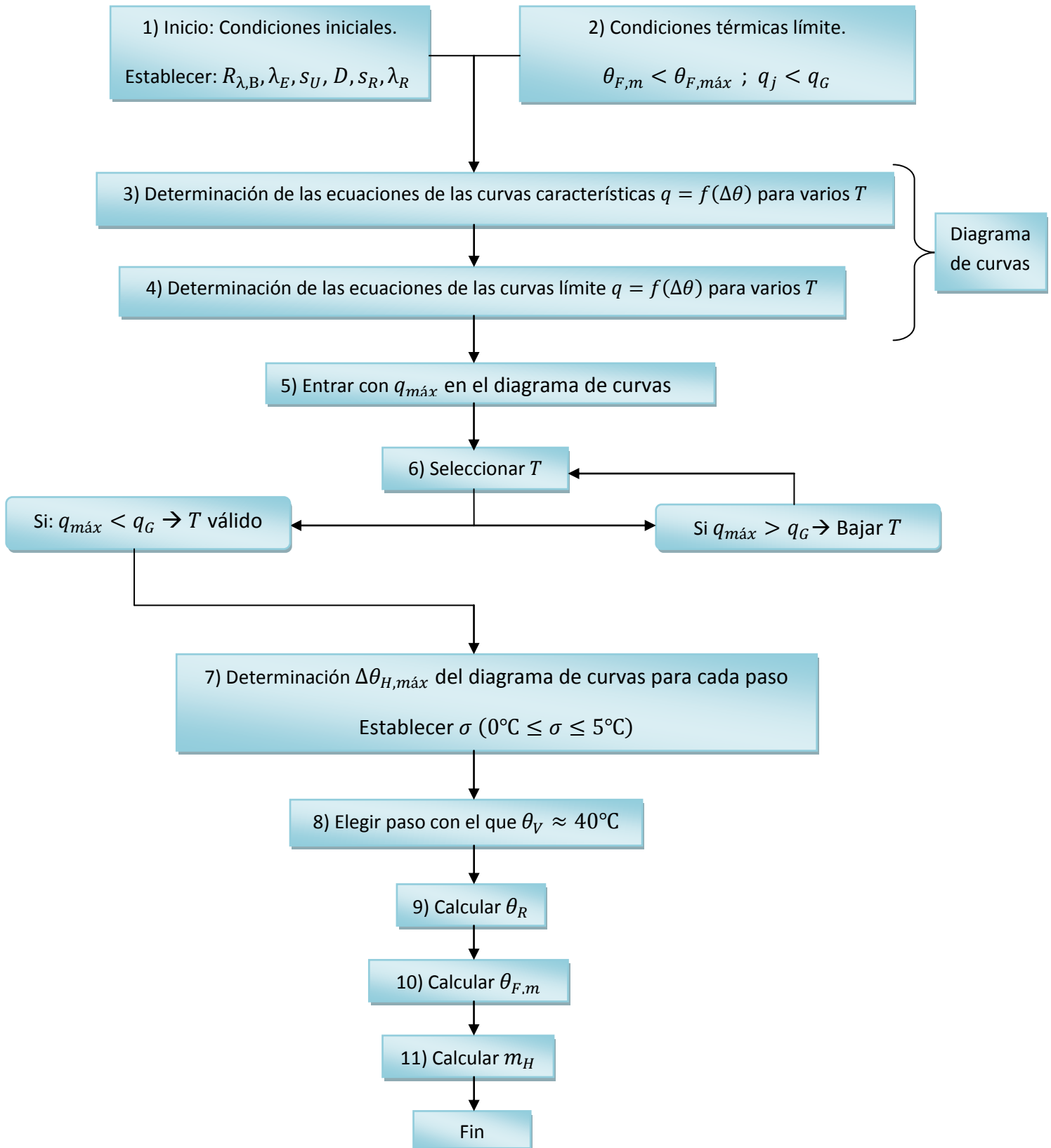
Tabla 4.1 Parámetros característicos del suelo de la vivienda.

- 2) Se ha realizado la suposición de que toda la vivienda es zona ocupada, por lo que no existe zona periférica (esta suposición conlleva a que toda la superficie del suelo está a la misma temperatura).

A partir de la norma, se procede a comenzar el diseño del suelo radiante, mediante el cálculo de los parámetros de diseño. Estos son:

- Potencia térmica específica , q (W/m^2).
- Temperatura del ambiente interior θ_i ($^{\circ}C$).
- Temperatura de impulsión, θ_V ($^{\circ}C$).
- Paso, T (m).
- Salto térmico ente la temperatura de impulsión y la de retorno, σ ($^{\circ}C$).
- Temperatura de retorno, θ_R ($^{\circ}C$).
- Temperatura de la superficie del suelo, $\theta_{F,m}$ ($^{\circ}C$).
- Caudal de agua en cada circuito, m_H (Kg/s).

La norma UNE-EN-1264 [12] indica que para el cálculo de la θ_V del sistema ha de utilizarse la estancia que tenga mayor potencia térmica específica. En el siguiente algoritmo de cálculo se muestran los pasos seguidos para la determinación de los parámetros de diseño para la estancia con $q_{m\acute{a}x}$.



A continuación se explica el algoritmo de cálculo anterior. Para el cálculo de los parámetros de diseño, se ha aplicado la norma UNE-EN-1264 [12].

- Paso 1.

El método comienza estableciendo las condiciones iniciales (parámetros característicos del suelo).

- Paso 2.

Se fijan las condiciones térmicas límites de la norma [12], para conocer los valores límite de los parámetros de diseño (q y $\theta_{F,m}$). Son:

- 1) La temperatura de superficie máxima del suelo para la zona ocupada A_A es $\theta_{F,máx} = 29^\circ\text{C}$ a excepción del cuarto de baño, cuya $\theta_{F,máx} = 35^\circ\text{C}$. La temperatura media de la superficie del suelo, $\theta_{F,m}$, no debe superar este valor, pues siempre debe cumplirse que la condición $\theta_{F,m} < \theta_{F,máx}$.
- 2) El flujo de calor emitido por el sistema de suelo radiante, conocido como la potencia térmica específica q , no debe situarse por encima de la potencia térmica específica máxima admisible, q_G , marcada por la curva límite, la cual se explica en el método de cálculo

- Paso 3.

Con el fin de determinar los parámetros de diseño, es necesario elaborar una serie de gráficas denominadas curvas características. Una curva característica es la curva que describe para un sistema determinado, la relación entre la potencia específica q y la diferencia de temperatura entre el fluido de calefacción y la sala, $\Delta\theta_H$. Estas curvas se elaboran en función de los parámetros característicos del suelo para distinto T . En el presente proyecto se han establecido los siguientes pasos:

$T = 0,05 \text{ m}$
$T = 0,15 \text{ m}$
$T = 0,225 \text{ m}$
$T = 0,375 \text{ m}$

Tabla 4.2 Pasos seleccionados para las curvas características y límite.

- Paso 4.

Se calcula para cada curva característica, la ecuación de la curva límite correspondiente. Las curvas límite son curvas que representan los límites de la potencia térmica específica máxima q_G y la diferencia de temperatura entre el fluido de calefacción y la sala $\Delta\theta_{H,G}$. Establece las limitaciones del sistema de suelo radiante de acuerdo a las limitaciones fisiológicas de las personas. Para cada sistema de calefacción existe una determinada potencia térmica específica máxima admisible q_G marcada por la curva límite. Esta potencia específica se determina para una temperatura ambiente interior de la vivienda $\theta_i = 20^\circ\text{C}$ (a excepción de los cuartos de baño, cuya temperatura interior es $\theta_i = 24^\circ\text{C}$), bajo la condición de que la temperatura de superficie máxima para la zona ocupada A_A es $\theta_{F,máx} = 29^\circ\text{C}$ y el salto térmico entre el agua de impulsión y el agua de retorno $\sigma = 0^\circ\text{C}$.

Una vez se tienen las ecuaciones de las curvas características y límite, se grafican mediante un programa de cálculo. El resultado obtenido es un diagrama de curvas, expresadas como una función de la potencia térmica específica q y de la diferencia media logarítmica de temperatura entre el medio de calefacción (agua) y la temperatura de la estancia $\Delta\theta_H$ para distintos pasos T .

- Paso 5.

Entrar en el diagrama de curvas con la $q_{máx}$ correspondiente a la estancia de referencia.

- Paso 6.

Se seleccionan los pasos teniendo en cuenta que debe cumplirse la condición de $q_{máx} < q_G$. De esta forma se realiza la selección de pasos válidos.

- Paso 7.

Mediante las curvas características, correspondientes a cada paso, se determina el valor de $\Delta\theta_H$ para cada paso. Se fija la diferencia de temperatura entre el agua de impulsión y el agua de retorno σ . La norma UNE 1264 establece que en la estancia utilizada en el diseño se debe cumplir la condición $0^\circ\text{C} \leq \sigma \leq 5^\circ\text{C}$.

- Paso 8.

Mediante la formulación expresada en la norma, se calcula la θ_V que más se aproxime al valor de 40°C dentro de los pasos disponibles. Este será el paso elegido para el diseño del suelo radiante.

- Paso 9.

Conocido el paso para la estancia de diseño, se calcula para esta la temperatura del agua de retorno θ_R .

- Paso 10.

Se calcula la temperatura media superficial del suelo $\theta_{F,m}$ mediante el uso de la curva característica básica. Esta curva describe la relación entre la potencia específica q y la diferencia de temperatura media entre la superficie y el interior de la sala ($\theta_{F,m} - \theta_i$). Una superficie de suelo radiante que posee una temperatura superficial media determinada intercambia la misma potencia térmica con cualquier estancia que tenga la misma temperatura ambiental. Por ello, se puede suministrar una curva característica básica independientemente del sistema de calefacción y aplicable a todas las superficies de calefacción.

El proceso consiste en determinar, para cada potencia térmica específica de cada estancia, la diferencia de temperatura $\theta_{F,m} - \theta_i$ y posteriormente, $\theta_{F,m}$. En la Figura 4.2 se muestra la curva característica básica:

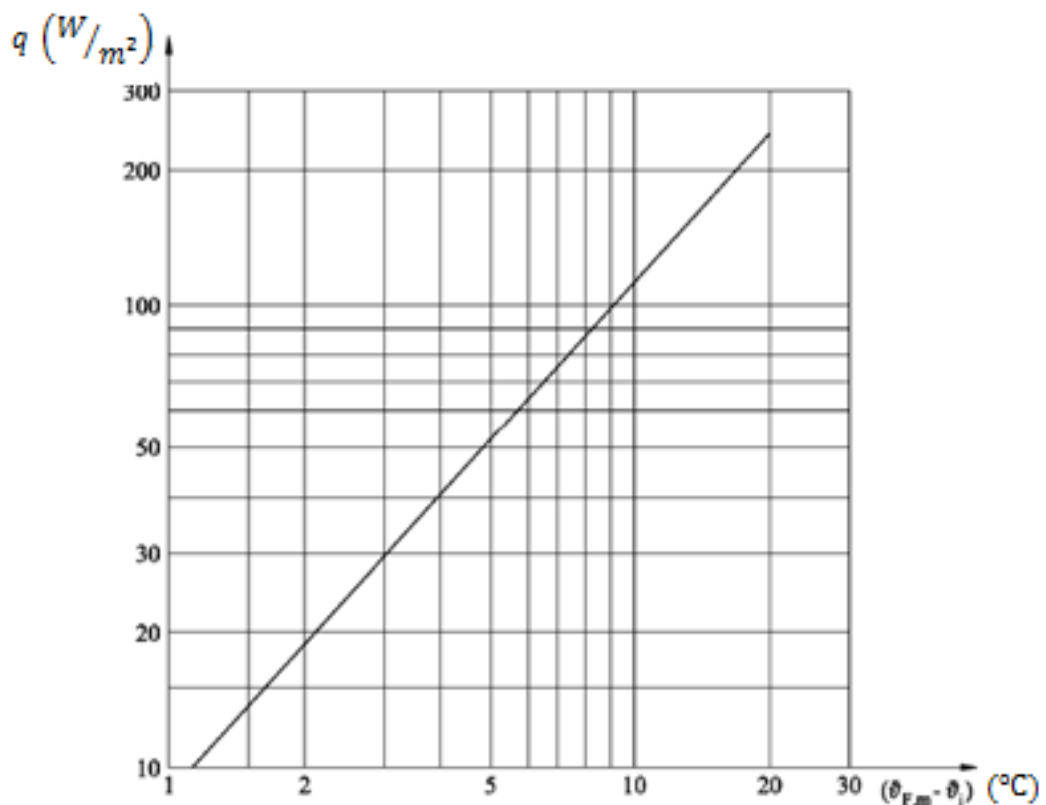


Figura 4.2 Curva Característica Básica [12].

- Paso 11.

Se calcula el caudal de agua m_H en el circuito de diseño. Se determina mediante la formulación expresada en la norma [12], a través del cálculo de una serie de parámetros allí incluidos.

A continuación se exponen la metodología de cálculo a partir del paso 3, pues los anteriores ya están definidos.

4.1.1 Cálculo de las curvas características

Las curvas características para la configuración de tubos seleccionada (tipo A), se calculan mediante la siguiente ecuación:

$$q = B \cdot a_B \cdot a_T^{m_T} \cdot a_U^{m_U} \cdot a_D^{m_D} \cdot \Delta\theta_H \quad (4.1)$$

Donde;

- B : es el coeficiente característico del sistema expresado en $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$.
- a_i : Parámetros (calculados ó tomados de las tablas) para el cálculo de las curvas características, $i = B, T, U, D$.
- m_i : Exponentes para el cálculo de las curvas características, $i = T, U, D$.
- $\Delta\theta_H$: Diferencia media logarítmica entre el fluido de calefacción y la sala ($^{\circ}C$). Matemáticamente se expresa como:

$$\Delta\theta_H = \frac{\theta_V - \theta_R}{\ln \frac{\theta_V - \theta_i}{\theta_R - \theta_i}} \quad (4.2)$$

A continuación se muestran y calculan todos los parámetros necesarios para poder determinar, para 4 pasos diferentes, las curvas características mediante la ecuación (4.1).

- $B = 6,5 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ para $\lambda_R = 0,35 \frac{W}{m \cdot K}$ y $s_R = 0,002 m$.

- a_B : Es el factor de revestimiento de suelo = **0,787**. Se calcula mediante (4.3):

$$a_B = \frac{\frac{1}{\alpha} + \frac{s_{u,0}}{\lambda_{u,0}}}{\frac{1}{\alpha} + \frac{s_{u,0}}{\lambda_E} + R_{\lambda,B}} \quad (4.3)$$

Donde los siguientes valores vienen predefinidos en la norma :

$$\alpha = 10,8 \frac{W}{m^2 \cdot K} ; \lambda_{u,0} = 1 \frac{W}{m \cdot K} ; s_{U,0} = 0,045 m ;$$

- a_T : Es el factor de paso de acuerdo = **1,188** y se obtiene de la siguiente tabla en función de $R_{\lambda,B}$:

$R_{\lambda,B}$ $m^2 \cdot K/W$	0	0,05	0,10	0,15
a_T	1,23	1,188	1,156	1,134

Tabla 4.3 Valores a_T [12].

- a_U : Es el factor de recubrimiento y depende de T y $R_{\lambda,B}$. Para los pasos seleccionados, se muestran los valores marcados en la siguiente tabla:

$R_{\lambda,B}$ $m^2 \cdot K/W$	0	0,05	0,10	0,15
T (m)	a_u			
0,05	1,069	1,056	1,043	1,037
0,075	1,066	1,053	1,041	1,035
0,1	1,063	1,05	1,039	1,033 5
0,15	1,057	1,046	1,035	1,030 5
0,2	1,051	1,041	1,031 5	1,027 5
0,225	1,048	1,038	1,029 5	1,026
0,3	1,039 5	1,031	1,024	1,021
0,375	1,03	1,022 1	1,018 1	1,015

Tabla 4.4 Valores a_u [12].

- a_D : Es el factor de diámetro exterior del tubo y depende de T y $R_{\lambda,B}$. Para los pasos seleccionados, se muestran los valores marcados en la siguiente tabla:

$R_{\lambda, B}$ $m^2 \cdot K/W$	0	0,05	0,10	0,15
T (m)	a_D			
0,05	1,013	1,013	1,012	1,011
0,075	1,021	1,019	1,016	1,014
0,1	1,029	1,025	1,022	1,018
0,15	1,04	1,034	1,029	1,024
0,2	1,046	1,04	1,035	1,03
0,225	1,049	1,043	1,038	1,033
0,3	1,053	1,049	1,044	1,039
0,375	1,056	1,051	1,046	1,042

Tabla 4.5 Valores a_D [12].

- m_T : Se calcula mediante la ecuación (4.4):

$$m_T = 1 - \frac{T}{0,075} \quad (4.4)$$

Se aplica cuando $0,05 m \leq T \leq 0,375 m$.

Para cada paso, se expresa el exponente correspondiente:

$T(m)$	m_T
0,05	0,333
0,15	-1
0,225	-2
0,375	-3

Tabla 4.6 Valores m_T para los pasos seleccionados.

- $m_U = 1$. Se calcula mediante (4.5):

$$m_u = 100(0,045 - s_U) \quad (4.5) \quad \text{Se aplica cuando } s_U \geq 0,01 m.$$

- $m_D = 0$. Se calcula mediante la ecuación (4.6):

$$m_D = 100(D - 0,02) \quad (4.6) \quad \text{Se aplica cuando } 0,008 m \leq D \leq 0,03 m.$$

Las ecuaciones correspondientes a las curvas características se muestran en la Tabla 4.7.

T= 0,05 m	$q = 6 \cdot \Delta\theta_H$
T= 0,15 m	$q = 4,56 \cdot \Delta\theta_H$
T= 0,225 m	$q = 3,75 \cdot \Delta\theta_H$
T= 0,375 m	$q = 2,56 \cdot \Delta\theta_H$

Tabla 4.7 Ecuaciones de las curvas características.

4.1.2 Cálculo de las curvas límite.

El procedimiento de cálculo de las curvas límite es similar al de las curvas características. Para cada paso T se tendrá su correspondiente curva límite, las cuales se hallan mediante la siguiente ecuación:

$$q_G = \varphi \cdot B_G \cdot [(\Delta\theta H)/\varphi]^{n_G} \quad (4.7)$$

Donde:

- φ es el factor de conversión para todos los valores de temperaturas $\theta_{F,máx}$ y θ_i . Se calcula mediante la ecuación (4.8):

$$\varphi = \frac{\theta_{F,máx} - \theta_i}{\Delta\theta_0} \quad (4.8)$$

Donde:

$$\theta_{F,máx} = 29^\circ\text{C} ; \theta_i = 20^\circ\text{C} ; \Delta\theta_0 = 9 \text{ K} \rightarrow \varphi = 1.$$

- B_G es un coeficiente que depende de la relación s_U/λ_E (4.9).

$$s_U/\lambda_E = 0,035/1,2 = 0,0292 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

Para los pasos seleccionados, se muestran los valores marcados en la siguiente tabla:

$\frac{s_u/\lambda_E}{m^2 \cdot K/W}$	0,01	0,020 8	0,029 2	0,037 5	0,045 8	0,054 2	0,062 5	0,070 8	0,079 2
T m									
0,05	85,0	91,5	96,8	100	100	100	100	100	100
0,075	75,3	83,5	89,9	96,3	99,5	100	100	100	100
0,1	66,0	75,4	82,9	89,3	95,5	98,8	100	100	100
0,15	51,0	61,1	69,2	76,3	82,7	87,5	91,8	95,1	97,8
0,2	38,5	48,2	56,2	63,1	69,1	74,5	81,3	86,4	90,0
0,225	33,0	42,5	49,5	56,5	62	67,5	75,3	81,6	86,1
0,3	20,5	26,8	31,6	36,4	41,5	47,5	57,5	65,3	72,4
0,375	11,5	13,7	15,5	18,2	21,5	27,5	40,0	49,1	58,3

Tabla 4.8 Valores B_G [12].

- n_G : es un coeficiente que depende de la relación s_u/λ_E .

$\frac{s_u/\lambda_E}{m^2 \cdot K/W}$	0,01	0,020 8	0,029 2	0,037 5	0,045 8	0,054 2	0,062 5	0,070 8	0,079 2
T m									
0,05	0,008	0,005	0,002	0	0	0	0	0	0
0,075	0,024	0,021	0,018	0,011	0,002	0	0	0	0
0,1	0,046	0,043	0,041	0,033	0,014	0,005	0	0	0
0,15	0,088	0,085	0,082	0,076	0,055	0,038	0,024	0,014	0,006
0,2	0,131	0,13	0,129	0,123	0,105	0,083	0,057	0,040	0,028
0,225	0,155	0,154	0,153	0,146	0,13	0,11	0,077	0,056	0,041
0,262 5	0,197	0,196	0,196	0,19	0,173	0,15	0,110	0,083	0,062
0,3	0,254	0,253	0,253	0,245	0,228	0,195	0,145	0,114	0,086
0,337 5	0,322	0,321	0,321	0,31	0,293	0,260	0,187	0,148	0,115
0,375	0,422	0,421	0,421	0,405	0,385	0,325	0,230	0,183	0,142

Tabla 4.9 Valores n_G [12].

Con los datos anteriores se calculan las curvas limites:

T= 0,05 m	$q_G = 91,5 \cdot \Delta\theta_H^{0,005}$
T= 0,15 m	$q_G = 61,1 \cdot \Delta\theta_H^{0,085}$
T= 0,225 m	$q_G = 42,5 \cdot \Delta\theta_H^{0,154}$
T= 0,375 m	$q_G = 13,7 \cdot \Delta\theta_H^{0,421}$

Tabla 4.10 Ecuaciones curvas límite.

4.1.3 Representación del diagrama de curvas.

En la Figura 4.3 se representan las curvas características (CC) y las curvas límite (CL).

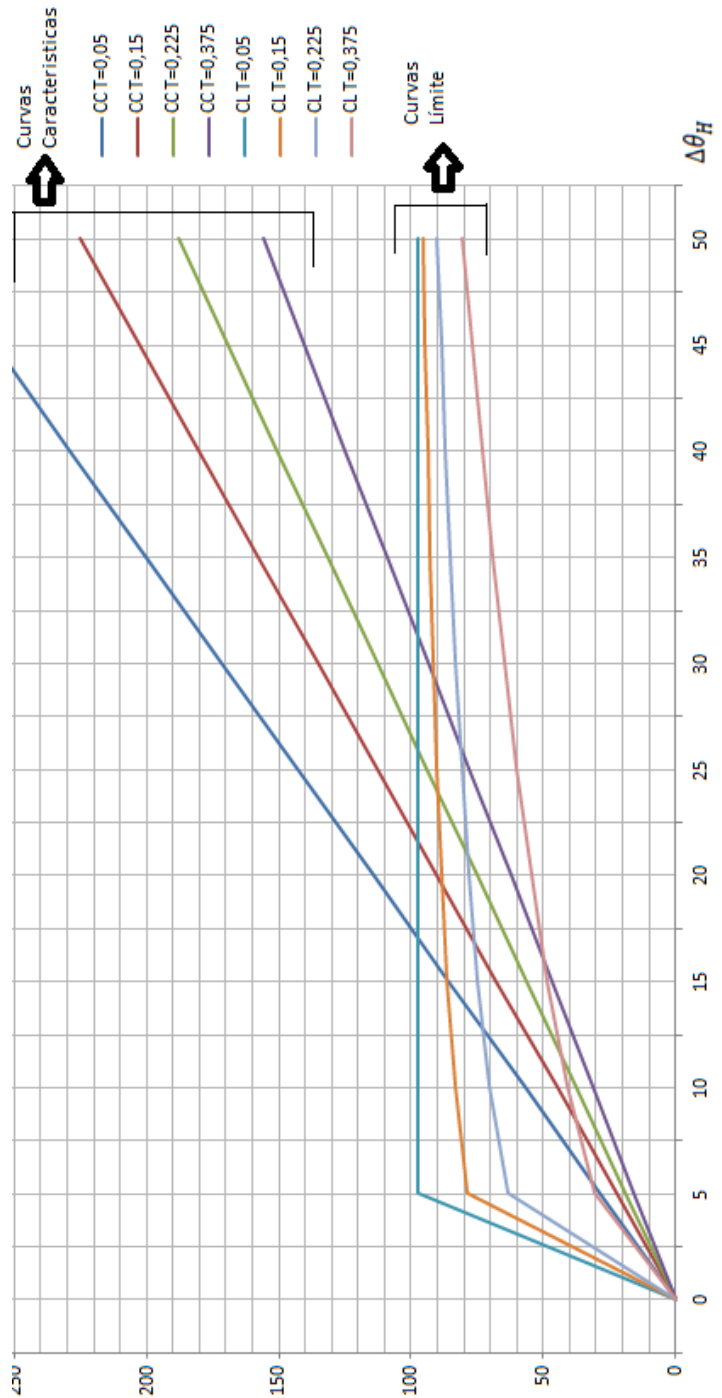


Figura 4.3 Diagrama de curvas.

4.1.4 Dimensionamiento.

Se van a obtener los parámetros de diseño para la estancia crítica, a modo de ejemplo, y posteriormente se obtienen los mismos parámetros para el resto de estancias. El dimensionamiento comienza hallando la q de cada estancia.

El valor de diseño de la potencia térmica específica q se define mediante (4.10):

$$q = \frac{Q_{estancia}}{A_F} \quad (4.10)$$

Donde:

- $Q_{estancia}$: Es la carga térmica de la estancia (W).
- A_F : Es el área superficial de calefacción (m^2).

Para las estancias de la vivienda en estudio se tienen las siguientes potencias térmicas específicas:

Estancia	A_F (m^2)	$Q_{estancia, total}$ (W)	q (W/m^2)
Dormitorio 1	22,5	1594,68	70,8
Dormitorio 2	22,5	1594,68	70,8
Cuarto de baño	10	544,21	54,42
Cocina	22,5	1137,21	50,5
Salón	45	2644,2	58,76

Tabla 4.11 Potencia térmica específica por estancia.

De la Tabla 4.11 se puede observar que las estancias críticas son los dormitorios, por lo que se elige cualquiera de ellos para el diseño del sistema de suelo radiante. Se tiene que:

$$q_{m\acute{a}x} = 70,8 \text{ W}/m^2$$

➤ Cálculo de parámetros de diseño para la estancia con $q_{m\acute{a}x}$:

1) Temperatura de impulsión, θ_V ($^{\circ}C$):

Su cálculo se efectúa mediante la siguiente fórmula:

$$\theta_V = \Delta\theta_{V,m\acute{a}x} + \theta_i \quad (4.11)$$

Donde:

$$\Delta\theta_{V,m\acute{a}x} = \Delta\theta_{H,m\acute{a}x} + \sigma/2 \quad (4.12)$$

Y donde:

- $\Delta\theta_{V,m\acute{a}x}$: Es la diferencia de temperatura de dise\~no entre el flujo del fluido y la sala ($^{\circ}\text{C}$).

- σ : Es la diferencia de temperatura entre el agua de impulsión y el agua de retorno ($^{\circ}\text{C}$).Según la norma, σ para la estancia utilizada en el dise\~no debe estar comprendida entre $0^{\circ}\text{C} \leq \sigma \leq 5^{\circ}\text{C}$. En el presente proyecto se ha tomado un valor de:

$$\sigma = 5^{\circ}\text{C}$$

- $\Delta\theta_H$: Diferencia media logarítmica entre el fluido de calefacción y la sala ($^{\circ}\text{C}$). Para obtener $\Delta\theta_H$ se entra en la Figura 4.3 con $q_{m\acute{a}x}$. En la Figura 4.4 se muestran los valores obtenidos.

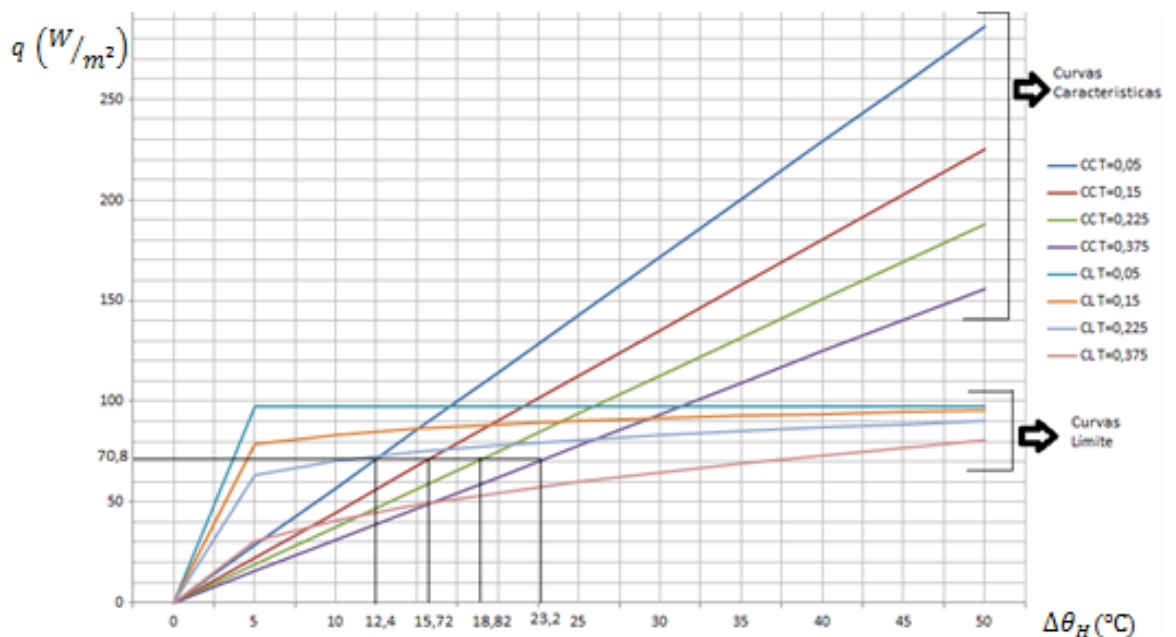


Figura 4.4 Determinación de $\Delta\theta_H$.

Siempre debe cumplirse la siguiente condición que impone la norma: $q_{des} \leq q_G$, donde q_G es la potencia térmica específica a la que se alcanza la temperatura máxima permitida de la superficie del suelo, según las condiciones térmicas límite.

Para cada paso se han obtenido los valores de las siguientes tablas:

Pasos	$q_{m\acute{a}x}$ (W/m^2)	q_G (W/m^2)	$\Delta\theta_{H,m\acute{a}x}$ ($^{\circ}C$)	σ ($^{\circ}C$)	$\Delta\theta_{V,m\acute{a}x}$ ($^{\circ}C$)	θ_V ($^{\circ}C$)
T=0,05 (m)	70,8	97,35	12,38	5	14,88	34,878
T=0,15 (m)	70,8	88,5	15,72	5	18,22	38,22
T=0,225 (m)	70,8	79	18,82	5	21,32	41,32
T=0,375 (m)	70,8	48,5	-	-	-	-

Tabla 4.12 Resultados de las temperaturas de diseno obtenidos.

Si se observa la Figura 4.3, el paso $T=0,375\ m$ no es válido para el diseno de la estancia en estudio, ya que para esta curva característica se tiene que:

$$q_{m\acute{a}x} > q_G$$

A la vista de los resultados obtenidos, el paso más adecuado para el sistema de suelo radiante de la vivienda es **$T=0,225\ m$** ($\theta_V \approx 40^{\circ}C$).

2) Temperatura de retorno, θ_R ($^{\circ}C$).

La temperatura de retorno se determina mediante:

$$\theta_R = \theta_V - \sigma_j \quad (4.13)$$

3) Temperatura media superficial del suelo $\theta_{F,m}$.

Conocida la potencia térmica específica de cada estancia y la temperatura interior de las mismas, la temperatura media superficial del suelo se determina mediante el uso de la curva característica básica. En la Figura 4.5 pueden verse los resultados obtenidos.

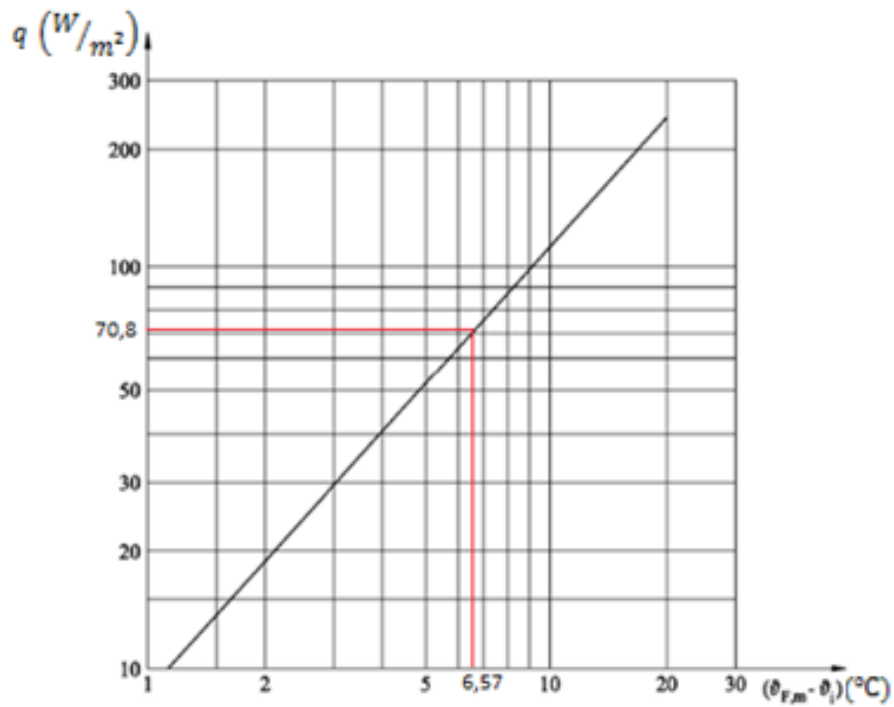


Figura 4.5 Utilización de la Curva Característica Básica.

4) Cálculo del caudal de agua $m_H \left(\frac{l}{s}\right)$.

La potencia térmica total de un sistema de calefacción por suelo radiante está compuesta por una emisión térmica específica q y una pérdida de calor hacia abajo q_u . Teniendo en cuenta estas circunstancias, el caudal del diseño de flujo de agua m_H de una determinada estancia se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$m_H = \frac{A_F \cdot q}{\sigma \cdot c_p} \cdot \left(1 + \frac{R_o}{R_u} + \frac{\theta_i - \theta_u}{q \cdot R_u}\right) \quad (4.15)$$

Donde;

- R_o : Resistencia térmica por encima de los tubos $\left(\frac{m^2 \cdot K}{W}\right)$.

- R_u : Resistencia térmica por debajo de los tubos $\left(\frac{m^2 \cdot K}{W}\right)$.

- θ_u : Temperatura interior de una habitación inferior (en el presente proyecto no hay habitaciones debajo de la vivienda, por tanto θ_u tendrá el valor de la temperatura del terreno) ($^{\circ}\text{C}$).

En la siguiente figura pueden interpretarse físicamente los parámetros anteriores:

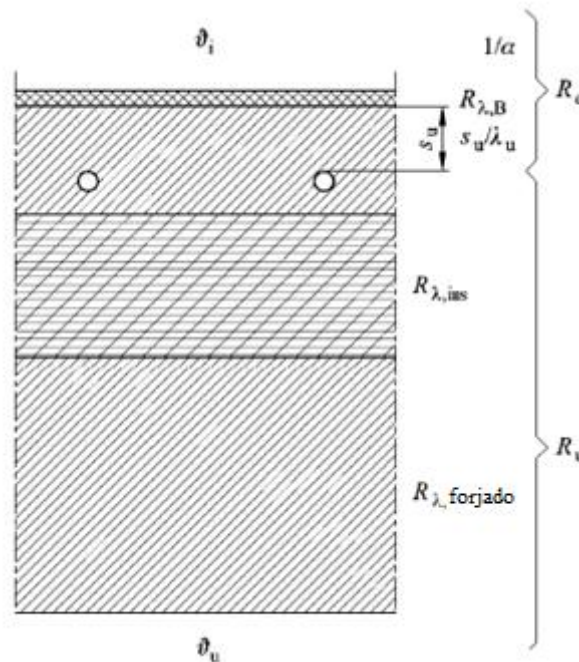


Figura 4.6 Composición de resistencias del suelo radiante.

Las resistencias a la transmisión de calor toman las siguientes expresiones:

$$R_o = \frac{1}{\alpha} + R_{\lambda,B} + \frac{s_u}{\lambda_u} \quad (4.16)$$

Donde:

– $\frac{1}{\alpha} = 0,0093 \frac{m^2 \cdot K}{W}$ y es la resistencia al calor en la superficie de suelo radiante.

$$R_o = 0,0843 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$R_u = R_{\lambda,ins} + R_{\lambda,forjado} \quad (4.17)$$

Donde;

$$R_{\lambda,ins} = 1,67 \frac{m^2 \cdot K}{W} ; R_{\lambda,forjado} = 0,3 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$R_u = 1,97 \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

El resultado puede ver en la Tabla 4.13:

Estancia	A_F (m^2)	q (W/m^2)	σ_j ($^{\circ}C$)	C_p ($\frac{J}{K \cdot Kg}$)	R_o ($\frac{m^2 \cdot K}{W}$)	R_u ($\frac{m^2 \cdot K}{W}$)	θ_i ($^{\circ}C$)	θ_u ($^{\circ}C$)	m_H ($\frac{kg}{s}$)
Dormitorio	22,5	70,8	5	4190	0,0843	1,97	20	6	0,087

Tabla 4.13 Valor caudal de agua.

➤ Cálculo de parámetros de diseño para el resto de estancias.

La θ_V obtenida en la habitación de $q_{m\acute{a}x}$ será la misma para todas las estancias. Para calcular los parámetros de diseño del resto de estancias, también se han utilizado el diagrama de curvas, pero el paso T se selecciona considerando la θ_V obtenida para la habitación de $q_{m\acute{a}x}$ y calculando σ a partir de la ecuación 4.18 y teniendo en cuenta que $5^{\circ}C \leq \sigma_j \leq 15^{\circ}C$ [16].

$$\frac{\sigma_j}{2} = \Delta\theta_{V,des} - \Delta\theta_{H,j} \quad (4.18)$$

Donde: $j = 1 \dots n^{\circ}$ estancia.

En la siguiente tabla se recogen los resultados de los parámetros de diseño para todas las estancias de la vivienda:

Estancia	θ_i ($^{\circ}C$)	θ_V ($^{\circ}C$)	T (m)	σ_j ($^{\circ}C$)	θ_R ($^{\circ}C$)	$\theta_{F,m}$ ($^{\circ}C$)	m_H ($\frac{kg}{s}$)
Dormitorio 1	20	41,32	0,225	5	36,32	26,57	0,085
Dormitorio 2	20	41,32	0,225	5	36,32	26,57	0,085
Cuarto de baño	24	45,32	0,375	7,73	37,59	29,18	0,02
Cocina	20	41,32	0,375	10,25	31,07	24,83	0,03
Salón	20	41,32	0,225	11,4	29,92	25,55	0,06

Tabla 4.14 Resumen de los resultados de los parámetros de diseño de la vivienda.

4.2 Especificaciones de los componentes del suelo radiante.

4.2.1 Longitud de tubo total.

Para determinar la longitud de tubo total, se debe calcular el circuito. La longitud de cada circuito depende del área a calefactar, del paso elegido y de la distancia que exista entre el colector y la estancia. Se calcula [19] como:

$$L = \frac{A_F}{T} + 2 \cdot l \quad (4.19)$$

Donde:

L : Longitud total de tubo para una determinada estancia (m).

l : Longitud entre el colector y la estancia a calefactar (m).

Se debe tener en cuenta el límite de longitud máxima de tubo, pues longitudes de tubo excesivamente grandes provocarían grandes pérdidas de carga. En el presente proyecto se ha considerado que la longitud máxima de tubo debe tener un valor inferior a 120 m [16]. Si se sobrepasa el valor anterior, debe realizarse una subdivisión del circuito principal en tantos circuitos como sean necesarios, como se ha realizado en los dormitorios y en el salón. En la vivienda en estudio se han obtenido los siguientes resultados:

Estancia	A_F (m ²)	T (m)	l (m)	n° circuitos	L (m)
Dormitorio 1	22,5	0,225	10	2	60/60
Dormitorio 2	22,5	0,225	11	2	61/61
Cuarto de baño	10	0,375	10	1	56,35
Cocina	22,5	0,375	1	1	62
Salón	45	0,225	0	2	100/100
					$L_{Total} = 560,35$

Tabla 4.15 Longitud de los circuitos.

Como se puede observar de la tabla anterior, se requiere de una longitud total de tubo para la instalación de:

$$L_{Total} = 560,35 \text{ m}$$

Para los tubos de polietileno reticulado se ha elegido el fabricante Roth, que suministra rollos de tubo de 200 m, por lo que se necesitan 3 rollos.

4.2.2 Bomba.

Para elegir la bomba, se debe determinar previamente el caudal total $m_{H,total}$ a impulsar y la pérdida de carga total $\Delta P_{m\acute{a}x}$ en la instalación:

- $m_{H,total}$: Es el caudal de agua total que circula por la instalación de suelo radiante $\left(\frac{l}{s}\right)$. Tiene un valor de:

$$m_{H,total} = 0,27 \frac{l}{s}$$

- $\Delta P_{m\acute{a}x}$: Se determina mediante la ecuación 4.20.

$$\Delta P_{m\acute{a}x} = \Delta P_{circuito,m\acute{a}x} + \Delta P_{accesorios} + \Delta P_{bomba-colector} + \Delta P_{colector} + \Delta P_{altura} \quad (4.20)$$

- $\Delta P_{circuito,m\acute{a}x}$: Es la pérdida de carga de mayor valor de entre todos los circuitos de calefacción de las distintas estancias (Pa). Su cálculo se realiza mediante la Ecuación de Darcy-Weisbach [17]:

$$\Delta P = \frac{\rho_{agua} \cdot 8 \cdot m_H^2}{\pi^2 \cdot D_{int}^4} \cdot f \cdot \frac{L}{D_{int}} \quad (4.21)$$

Donde;

- ΔP : Pérdida de carga (Pa).
- D_{int} : Diámetro interior de la tubería (m).
- f : Factor de fricción.
- L : Longitud de la tubería (m).

A continuación se muestra el procedimiento para obtener f .

El factor de fricción depende de si el régimen del fluido es laminar o turbulento:

- Si f es laminar ($Re < 2000$) se utiliza [17]:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (4.22)$$

- Si el flujo es turbulento ($Re > 4000$) o está en zona de transición ($2000 \leq Re \leq 4000$), para hallar f se utiliza el Diagrama de Moody (Anexo 2), que expresa [17]:

$$f = F\left(Re, \frac{\varepsilon}{D}\right) \quad (4.23):$$

Donde:

- Re : Número de Reynolds y se expresa como [17]:

$$Re = \frac{\rho_{agua} \cdot V \cdot D}{\mu} \quad (4.24)$$

Donde;

$$\mu = 0,000891 \frac{kg}{m \cdot s}$$

V : es la velocidad del fluido y se expresa como [17]:

$$V = \frac{m_H}{S_{tubo}} \quad (4.25)$$

- $\frac{\varepsilon}{D}$: Rugosidad relativa, donde ε es la rugosidad absoluta y depende del material de la tubería. Para el polietileno reticulado $\varepsilon=0,007$ mm [17].

$$\varepsilon/D = 0,00044 \quad (4.26)$$

En la Tabla 4.14 se expresan los caudales necesarios por estancia, los cuales, en el caso de mas de un circuito por estancia, se reparten de la misma forma en ambos circuitos.

En la siguiente tabla se expresan los resultados de la pérdida de carga obtenidos en cada circuito:

Estancia	$m_H (\frac{m^3}{s})$	$D_{int}(m)$	$S_{tubo}(m^2)$	$V (m/s)$	Re	f	$L(m)$	$\Delta P_{circuito} (Pa)$
Dormitorio 1	$4,35 \cdot 10^{-5} / 4,35 \cdot 10^{-5}$	0,016	$2,01 \cdot 10^{-4}$	0,43	7686,2	0,034	60/60	2978,4/2978,4
Dormitorio 2	$4,35 \cdot 10^{-5} / 4,35 \cdot 10^{-5}$	0,016	$2,01 \cdot 10^{-4}$	0,43	7686,2	0,034	61/61	3028,5/3028,5
Cuarto de baño	$2 \cdot 10^{-5}$	0,016	$2,01 \cdot 10^{-4}$	0,044	787,08	0,04	56,3	726,3
Cocina	$3 \cdot 10^{-5}$	0,016	$2,01 \cdot 10^{-4}$	0,1	1792,9	0,0357	62	2752
Salón	$5,404 \cdot 10^{-5} / 5,404 \cdot 10^{-5}$	0,016	$2,01 \cdot 10^{-4}$	0,27	4826,611	0,038	100	2796,4/2796,4

Tabla 4.16 Valores ΔP para cada estancia.

De la tabla 4.16 puede verse que la pérdida de carga máxima en el circuito se produce en el Dormitorio 2 y tiene un valor de:

$$\Delta P_{circuito,máx} = 3028,5 Pa$$

$-\Delta P_{accesorios}$: Es la pérdida de carga debida a la existencias de accesorios en los circuitos del suelo radiante (por ejemplo: válvulas, codos, etc.). Corresponde a las pérdidas de carga secundarias. Su determinación se ha realizado en base a la norma UNE 149201 [18], la cual establece que $\Delta P_{accesorios}$ se determina como el 30% de $\Delta P_{circuito,máx}$. Se obtiene el siguiente valor:

$$\Delta P_{accesorios} = 0,3 \cdot 3028,5 = 908,55$$

$-\Delta P_{bomba-colector}$: Es la pérdida de carga que se produce en las tuberías que conecta la bomba con el colector de distribución (Pa). La longitud existente entre la bomba y el colector es de 4 m. Estas tuberías se han elegido de polietileno reticulado Wirsbo-*evalPEX*. El fabricante de las tuberías seleccionadas recomienda que la pérdida de carga entre los tubos que conectan la bomba y el colector no debe ser superior a 0,2 Kpa/m [19]. En la Figura 4.7 se muestra el diagrama (proporcionado por el fabricante [19]) $\Delta P/m$ en función del caudal para distintos diámetro de tubería. La tubería seleccionada es la de diámetro 32x2,9mm. Entrando con el valor del caudal total y el diámetro del tubo seleccionado en el diagrama de la Figura 4.7, se obtiene la siguiente pérdida de carga entra la bomba y el colector:

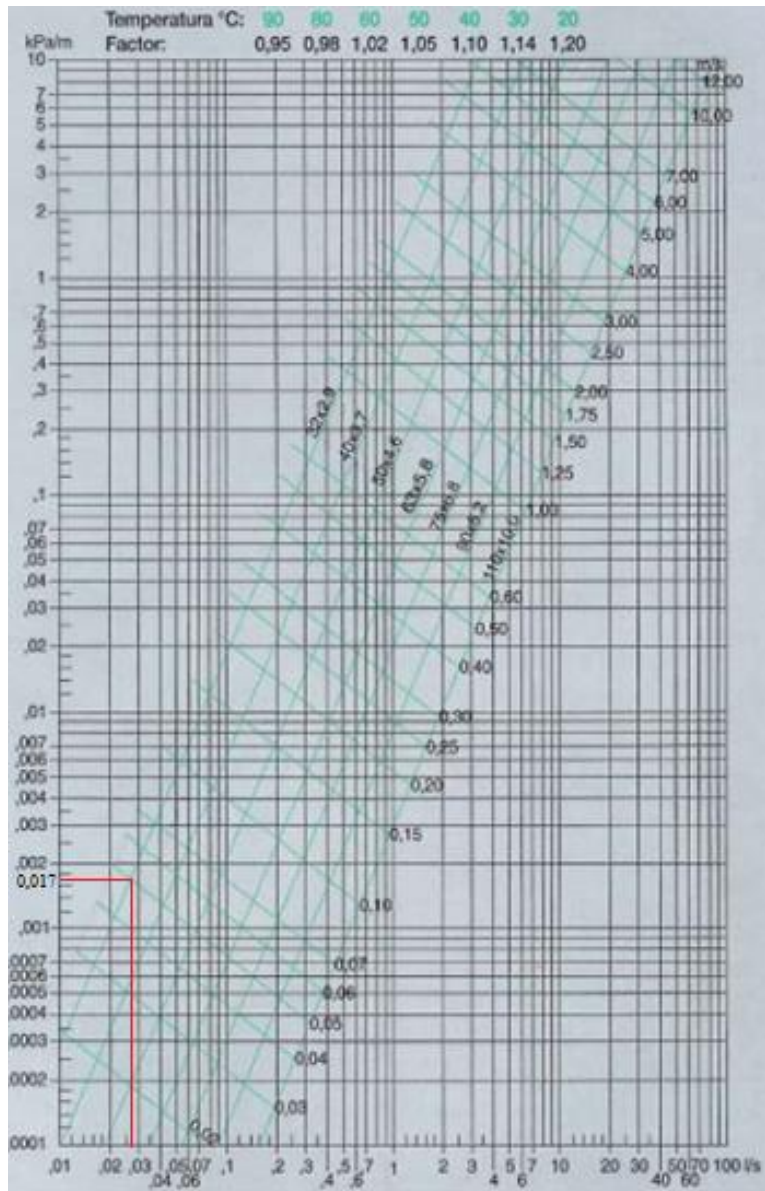


Figura 4.7 Diagrama de pérdida de carga de las tuberías Wirsbo-valPEX [19].

Del diagrama anterior se obtiene una pérdida de carga de:

$$\Delta P_{bomba-colector/m} = 0,17 \frac{KPa}{m}$$

Resultado una pérdida de carga total entre bomba y colector de:

$$\Delta P_{bomba-colector} = 0,17 \cdot 4 = 680 Pa$$

- $\Delta P_{colector}$: Es la pérdida de carga total que se produce en el conjunto del colector (colector de ida, colector de retorno y accesorios). Esta pérdida de carga se determina mediante el diagrama de la Figura 4.8 (proporcionado por el fabricante [20]) en función del tipo de colector, caudal total que recibe y número de circuitos que posee (8 en la vivienda en estudio). Se ha obtenido la siguiente pérdida de carga en el colector:

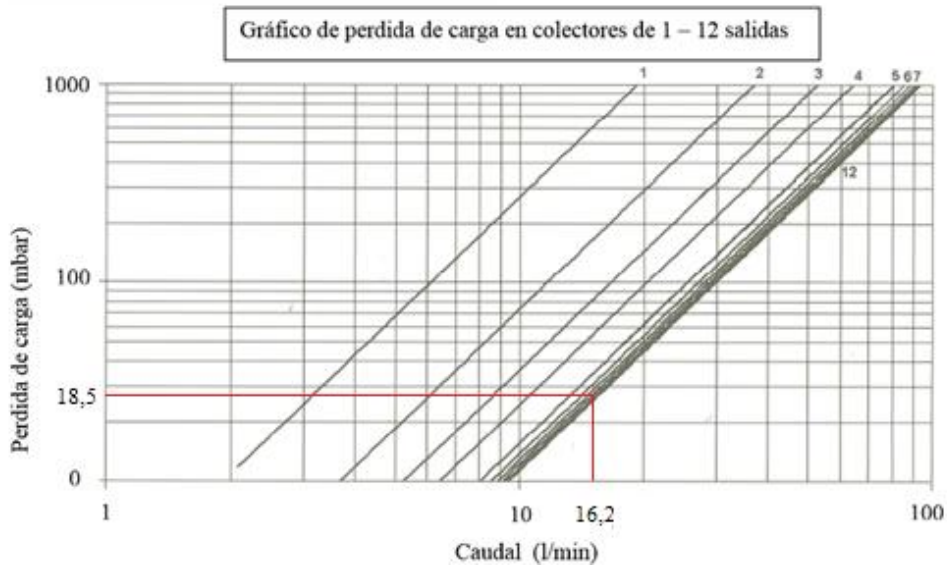


Figura 4.8 Diagrama de pérdida de carga en el colector [20].

Como se puede ver en la gráfica anterior, se tiene una pérdida de carga en el colector de:

$$\Delta P_{colector} = 1850 \text{ Pa}$$

- ΔP_{altura} : Es la pérdida de carga correspondiente a la altura máxima de la instalación. La altura máxima de la instalación es de 1,5 m y corresponde a la altura a la que está colocada la caldera. La pérdida de carga se calcula mediante [17]:

$$P_m = \rho \cdot g \cdot 1,5 = 14700 \text{ Pa} \quad (4.27)$$

Ya se puede obtener la pérdida de carga total producida en el circuito de calefacción:

$$\Delta P_{m\acute{a}x} = 3028,5 + 908,5 + 680 + 1850 + 14700 = 21167 \text{ Pa}$$

Para seleccionar la bomba adecuada, bajo el rango de funcionamiento determinado, para el sistema se ha optado por una bomba de la marca del fabricante Wilo [21], el cual proporciona el diagrama de curvas características de la Figura 4.9. A continuación se elige una bomba cuyo punto de funcionamiento de la instalación se encuentre por debajo de la curva característica:

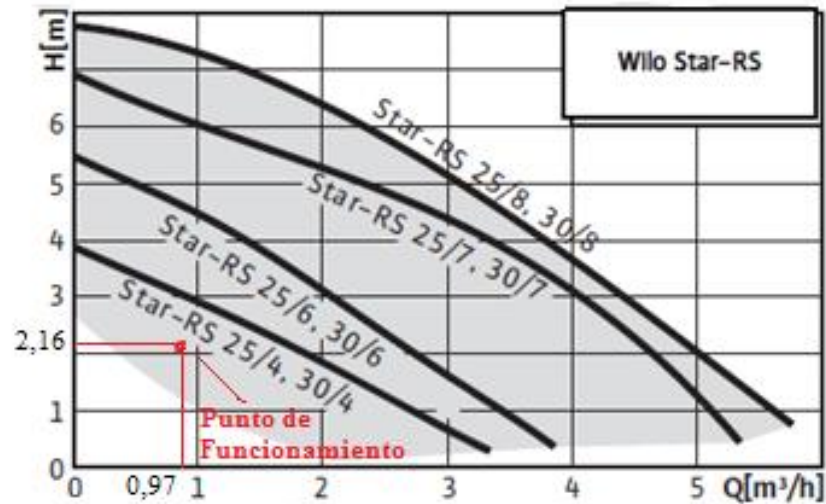


Figura 4.9 Curvas características de las bombas Wilo [21].

Se ha seleccionado la bomba STAR-RS-25/4 de la marca Wilo, la cual cuenta con una potencia de hasta 15,5 W [21] y cuyas restantes características pueden verse en el apartado “Anexos IV”.

4.2.3 Caldera

Para la elección de una caldera adecuada para un determinado sistema de calefacción y ACS se debe realizar una valoración de la potencia térmica necesaria de la misma. Evaluando los resultados obtenidos respecto a la carga térmica para el día más frío y la potencia necesaria para producir de manera instantánea ACS, se tiene:

$$Q_{ACS} = 21909,9 W$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 7491,31W$$

Para este sistema se requiere una potencia mínima a instalar en el sistema de producción de calor de:

$$Q_{TOTAL} = 29401,21 W$$

Por otra parte, apreciando las temperaturas a las que se debe calentar el agua para calefacción ($\approx 40^{\circ}\text{C}$) y retorno ($\approx 30^{\circ}\text{C}$) y por otra parte, la temperatura a la que se produce ACS (40°C), es una buena opción la elección de una caldera de condensación para este sistema en vez de una caldera convencional.

Las calderas de condensación son propicias para un sistema de calefacción por suelo radiante, debido a la baja temperatura de retorno del agua, favoreciendo la condensación. Por ello, para la vivienda se ha elegido la caldera de condensación MICRAPLUS CONDENS 30 KW, de la marca Hermann [22]. Dicha caldera tiene un rendimiento del 109,2% [22]. Sus especificaciones técnicas completas pueden observarse en el Anexo IV.

El combustible elegido para la producción de calor en la caldera anterior es gas natural. La caldera de gas natural tiene una vida útil mayor que las que utilizan otras energías como combustible y requiere de menor mantenimiento ya que el gas no contiene impurezas, lo que evita también el despilfarro de energía. Al ser una energía de suministro continuo, no precisa almacenamiento y permite un importante ahorro de espacio. Una de las propiedades importantes de los combustibles es su *PCI*. El gas natural tiene el siguiente *PCI* [23]:

$$PCI = 9500 \left(\frac{\text{Kcal}}{\text{m}^3} \right)$$

4.2.4 Vaso de expansión.

Su finalidad es la de absorber las dilataciones del fluido caloportador, por lo que todas las instalaciones de circuito cerrado de agua caliente deben equiparse con depósitos de expansión. Cuando crece la presión en la instalación debido a la dilatación del fluido caloportador, el fluido sobrante entra en el vaso y empuja a la membrana. El gas se comprime, evitando variaciones de presión.

El vaso de expansión utilizado en instalaciones de circuito cerrado es un recipiente cerrado formado por dos semicuerpos fabricados por embutición y soldados entre sí. En el semicuerpos inferior hay una válvula para controlar la presión en el interior del vaso. Entre los dos semicuerpos se coloca una membrana interior que suele ser de caucho sintético y que separa el aire y el líquido. Su cálculo se realiza a partir de la norma UNE 100155 [24]. El volumen necesario para el vaso de expansión se calcula mediante la ecuación 4.28:

$$V_t = V_{instalación} \cdot C_e \cdot C_p \quad (4.28)$$

Donde:

- $V_{instalación}$: Es el volumen de agua en la instalación (l). Se ha estimado como el volumen interior de las tuberías de los circuitos de suelo radiante más el volumen de las tuberías que conectan la bomba con el colector. Se calcula como:

$$V_{instalación} = \sum \frac{\pi \cdot D_{int}^2}{4} \cdot L_{Total} = \frac{\pi \cdot 0,016^2}{4} \cdot 600,36 + \frac{\pi \cdot 0,0262^2}{4} \cdot 4$$

$$= 120,71 + 2,16 \cdot 10^{-3} \approx 120,71 \text{ l} \quad (4.29)$$

- C_e : coeficiente de expansión según la temperatura máxima del sistema. Para rangos de temperaturas del agua entre $30 - 70^\circ\text{C}$, como es el caso ($T = 45,32^\circ\text{C}$), se determina mediante [24]:

$$C_e = (-1,75 + 0,064 \cdot T + 0,0036 \cdot T^2) \cdot 10^{-2} = 0,08544 \quad (4.30)$$

- C_p : Es el coeficiente de presiones. Se determina mediante [24]:

$$C_p = \frac{P_M}{P_M - P_m} \quad (4.31)$$

Donde:

- P_M : Es la presión máxima en la instalación (bar). En el presente proyecto se ha tomado un valor de 4 bar .

- P_m : Es la presión correspondiente a la altura geométrica máxima de la instalación por la que circula agua (bar). Se ha estimado que la altura máxima por la que circula agua en la instalación se produce en la caldera y tiene un valor de $1,5 \text{ m}$. Conocida la altura, se determina dicha presión como [17]:

$$P_m = \rho \cdot g \cdot 1,5 = 0,147 \text{ bar} \quad (4.32)$$

Ya se puede determinar el valor de C_p mediante la ecuación 4.31:

$$C_p = \frac{4}{4 - 0,147} = 1,04$$

Finalmente se determina el volumen del vaso de expansión, el cual tiene el siguiente valor:

$$V_t = 120,71 \cdot 0,08544 \cdot 1,04 = 10,73 \text{ l}$$

Se ha seleccionado el vaso de expansión CMF de 18 l de la marca Salvador Escoda [25], el cual puede verse en Anexos "IV".

4.2.5 Otros componentes.

El sistema de suelo radiante de la vivienda en estudio, además de las tuberías, bomba, caldera y vaso de expansión contiene los siguientes elementos, los cuales se tendrán en cuenta a la hora de realizar el presupuesto:

- Film antihumedad [26].
- Banda perimetral [25].
- Aditivo para mortero [25].
- Grapas de fijación [25].
- Juntas de dilatación (solamente en las estancias que lo requieran) [25].
- Colector de distribución de 5 conexiones [26]. Incluye:
 - Caudalímetros.
 - Detentores.
 - Juego de válvulas de esfera.
 - Soporte.
 - Cabezales electrotérmicos.
 - Grupo de purgado y vaciado.
 - Racores para el tubo.
 - Caja empotrable para colectores.
 - Termómetros
- Grupo hidráulico [25]. Incluye:
 - Válvula mezcladora.
 - Soporte del grupo.
 - Válvula de tres vías.
 - Juego de racores para la bomba.
 - Termómetros.
 - Motor para la válvula mezcladora.
- Unidad de control [26].
- Termostatos [26].

5. DISEÑO DE RADIADORES

Para la misma vivienda en estudio, conocidas las necesidades térmicas de la misma, se va a diseñar una instalación de radiadores. Para ello, se determinan los números de elementos que debe tener el radiador, y en función de estos, se determinan el número de radiadores a instalar. Posteriormente, se calcula el caudal de fluido de calefacción a suministrar en el conjunto de radiadores, con el fin de conocer la potencia necesaria de la bomba de la caldera, la cual se selecciona.

5.1 Selección del número de elementos de cada radiador.

Para calcular radiadores, se ha de partir de ciertos datos:

a) Tipo de radiador que se va a instalar: Los radiadores se pueden clasificar, en función de los materiales de que están fabricados en:

- Radiadores de hierro fundido.
- Radiadores de acero.
- Radiadores de aluminio.

b) Temperatura de trabajo del agua: La temperatura operativa del agua es fundamental para el cálculo de radiadores. Se consideran [27]:

- Temperatura de entrada, $T_e \approx 80 \text{ }^\circ\text{C}$
- Temperatura de salida, $T_s \approx 65 \text{ }^\circ\text{C}$
- Temperatura media del radiador, T_m : Se calcula mediante:

$$T_m = \frac{T_e + T_s}{2} \quad (5.1)$$

- Temperatura del ambiente, $T_{int} \approx 22 \text{ }^\circ\text{C}$

La exigencia de calidad térmica del ambiente interior se considera satisfecha en el diseño y dimensionado de la instalación térmica, si los parámetros que definen el bienestar térmico, como la temperatura seca del aire y operativa del recinto se mantienen en la zona ocupada dentro de los valores marcados por el RITE [28]. Las condiciones interiores de diseño de la temperatura operativa y la humedad relativa se fijan en base a la actividad metabólica de las personas y su grado de vestimenta. Estos valores se muestran en la siguiente tabla, en función de la estación:

Condiciones interiores de diseño		
Estación	Temperatura operativa $^\circ\text{C}$	Humedad relativa %
Verano	23...25	45...60
Invierno	21...23	40...50

Tabla 5.1 Temperaturas según RITE [28].

En el presente proyecto y para el cálculo de radiadores, se ha establecido la siguiente temperatura interior [28]:

$$T_{int} = 22^{\circ}\text{C}$$

Se tiene la siguiente diferencia de temperatura entre el interior y el exterior para el día más frío:

$$dT = 29^{\circ}\text{C}$$

El cual provoca la siguiente carga térmica máxima:

$$Q_{m\acute{a}x} = 7949,12\text{W}$$

En la siguiente figura pueden observarse todas las temperaturas influyentes en el cálculo de radiadores:

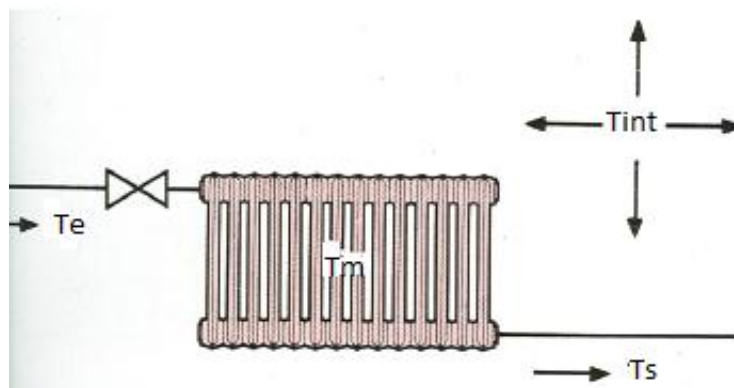


Figura 5.1 Temperaturas que influyen en el cálculo de un radiador.

c) Carga térmica de la estancia: Determina el número de elementos que debe tener el radiador.

d) Espacio disponible: Es un factor relevante, ya que la estancia debe contar con una longitud de pared suficiente para albergar los radiadores. En el caso de que por motivos geométricos no pueda colocarse el radiador necesario, se coloca más de un radiador, hasta que la potencia térmica emitida por estos iguale a la carga térmica de la estancia.

Para elegir un tipo determinado de radiador, los fabricantes establecen la potencia por elemento del radiador en función de un parámetro ΔT [27], normalmente

para valores de 50°C. Cuando el valor ΔT no corresponde con ninguno de los valores anteriores, debe emplearse la ecuación característica del radiador, en función de un exponente que facilita el fabricante, para corregir la potencia entregada por el elemento. ΔT es una función del siguiente cociente:

$$\frac{\Delta T_s}{\Delta T_e} \quad (5.2)$$

Donde [27];

$$\Delta T_s = T_s - T_{int} \quad (5.3)$$

$$\Delta T_e = T_e - T_{int} \quad (5.4)$$

- Si $\frac{\Delta T_s}{\Delta T_e} \geq 0,7$, ΔT se calcula como $\Delta T = T_m - T_{int}$ (5.5)
- Si $\frac{\Delta T_s}{\Delta T_e} < 0,7$, ΔT se calcula como $\Delta T = \frac{T_e - T_s}{\ln \frac{\Delta T_e}{\Delta T_s}}$ (5.6)

Basándose en condiciones normales de operación y para simplificar cálculos, para el cálculo de radiadores se han establecido las siguientes temperaturas:

- $T_e = 75 \text{ °C}$
- $T_s = 55 \text{ °C}$
- $T_m = 65 \text{ °C}$
- $T_{int} = 22 \text{ °C}$

Para estos valores, se tiene:

$$\Delta T_s = 55 - 22 = 33 \text{ °C} \quad ; \quad \Delta T_e = 75 - 22 = 53 \text{ °C}$$

$$\frac{\Delta T_s}{\Delta T_e} = 0,623 \geq 0,7 \rightarrow \Delta T = 42,2 \text{ °C}$$

Como $\Delta T \neq 50 \text{ °C}$, se escoge un radiador del mercado (con el fin de saber cual su exponente de la ecuación característica) y aplicar la ecuación característica del radiador. Dicha ecuación se expresa matemáticamente como [27]:

$$Q_{elemento} = Q_{50} \cdot \left(\frac{\Delta T}{50}\right)^{n_r} \quad (5.7)$$

Donde:

- $Q_{elemento}$: Potencia entregada por el elemento del radiador para $\Delta T \neq 50^\circ\text{C}$ (W).
- Q_{50} : Potencia entregada por el elemento del radiador para $\Delta T = 50^\circ\text{C}$ (W).
- n_r : exponente de la curva característica del elemento del radiador. Es un dato que proporciona el fabricante, en función del tipo de elemento.

Se ha elegido el radiador de aluminio JET 80 de la marca BAXIROCA [29]. Se ha elegido este debido a que, dentro de la marca, es el que más potencia térmica ofrece por elemento, y por consiguiente, se instalan menos elementos (los fabricantes establecen precios en función del número de elementos del radiador). El fabricante proporciona radiadores de 3 a 12 elementos. El JET 80 ofrece las siguientes prestaciones:

Dimensiones y Características Técnicas

Modelos	Cotas en mm			Capacidad agua l	Peso aprox. kg	Por elemento en Kcal/h		Exponente "n" de la curva característica
	A	B	C			(1)	(2)	
JET 45	420	350	97	0,35	1,17	110,8	83,6	1,298
JET 60	570	500	97	0,44	1,45	147,0	108,9	1,328
JET 70	670	600	97	0,52	1,76	172,0	125,6	1,321
JET 80	770	700	97	0,60	1,99	187,0	142,2	1,342

(1) = Emisión calorífica en Kcal/h según UNE 9-015-86 para $\Delta t = 60^\circ\text{C}$ (A título informativo)

(2) = Emisión calorífica en Kcal/h según UNE EN-442 para $\Delta t = 50^\circ\text{C}$

$\Delta t = (T_{\text{media radiador}} - T_{\text{ambiente}})$ en $^\circ\text{C}$

Exponente "n" de la curva característica según UNE EN-442

Los orificios de los elementos van roscados a 1° derecha a un lado e izquierda al otro.
Al realizar el pedido, prestar especial atención en la acertada elección del sentido de rosca de las reducciones y tapones.

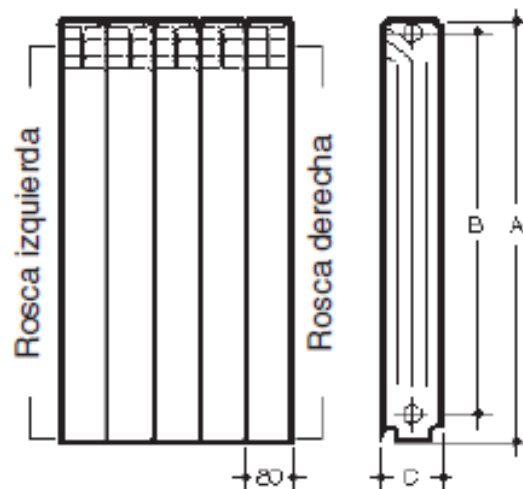


Figura 5.2 Radiador JET80, BAXIROCA [29].

$$Q_{elemento} = 142,2 \cdot \left(\frac{42,2}{50}\right)^{1,342} = 113,25 \frac{kcal}{h} = 131,5W$$

El número de elementos, por estancia, a instalar para cubrir las necesidades térmicas se calcula como:

$$n^{\circ}_{elementos} = \frac{Q_{total,estancia}}{Q_{elemento}} \quad (5.8)$$

Estancia	$Q_{total,estancia}(W)$	$Q_{elemento}(W)$	$n^{\circ}_{elementos}$	$n^{\circ}_{radiadores}$	Longitud radiador (m)
Dormitorio 1	1697,07	131,5	13	2	0,48/0,56
Dormitorio 2	1697,07	131,5	13	2	0,48/0,56
Cuarto de baño	515,2	131,5	4	1	0,32
Cocina	1205,72	131,5	10	1	0,8
Salón	2834,136	131,5	22	2	0,88

Tabla 5.2 Numero de elementos de cada radiador.

5.2 Especificaciones de los componentes del sistema de radiadores.

➤ Caldera.

Diseñado el sistema de radiadores, se elige el sistema de producción de calor en función de las temperaturas de ida y retorno, 75°C y 55°C, respectivamente. La caldera más adecuada para este sistema de calefacción por radiadores es una caldera convencional, ya que proporciona el rendimiento más alto dentro de del rango de temperaturas citado anteriormente. En este sistema de calefacción no es útil decantarse por una caldera de condensación, debido a que la alta temperatura del fluido de calefacción provoca un desaprovechamiento de la tecnología de condensación, y como se verá a posteriori, tienen un precio más elevado que las calderas convencionales. La caldera debe hacer frente a la demanda de calefacción y ACS. Se obtiene una potencia necesaria en la caldera de:

$$Q_{TOTAL} = 29859 W$$

Para el sistema de radiadores se ha optado por la caldera convencional MICRAPLUS 30 KW, de la marca Hermann [22]. Esta caldera tiene un rendimiento del 93%. Sus características técnicas completas pueden observarse en Anexos IV. Se optado porque dicha caldera funcione mediante gas natural, por las ventajas que presenta.

6. COMPARATIVA ECONÓMICA Y AMBIENTAL ENTRE LOS SISTEMAS DE CALEFACCIÓN POR SUELO RADIANTE Y RADIADORES

Una vez realizado el diseño de ambos sistemas de calefacción, se procede a realizar un estudio económico y ambiental de las instalaciones

6.1 Estudio económico.

Se va a evaluar si compensa económicamente instalar en obra nueva un sistema de calefacción por suelo radiante frente a un sistema de radiadores.

a) Presupuesto.

A partir de los diseños realizados, se muestra a continuación el presupuesto para ambas instalaciones. Para ello se definen los elementos que se requieren en la instalación y posteriormente se acude al catálogo de fabricantes (Roth [26] y Salvador Escoda [25]). Se ha considera un IVA del 21%.

PRESUPUESTO SUELO RADIANTE					
	Necesidad	Suministro	Adquisición	€/ud	Precio total (€)
- Tubo Polietileno reticulado 20x2 mm	560,36 m	Rollo x200 m	600 m	1,29	774
- Film antihumedad	150 m ²	Cajas x100 m ²	200 m ²	1,9	380
- Banda perimetral	97,2 m	Rollo x25	100 m	0,55	55
- Aditivo para mortero	1 bidón	x1 bidón	1 bidón	114,28	114,28
- Panel aislante	150 m ²	Caja x15 m ²	150 m ²	11,4	1710
- Grapas de fijación	550 ud	Caja x1000 ud	1000 ud	0,09	90
- Juntas de dilatación (sólo salón)	5,6 m	Caja x10 m	10 m	12,15	121,5
- Colector de 5 conexiones	1 ud	x1 ud	1 ud	231,5	231,5
Incluye					
Caudalímetros	5 ud	-	5 ud	-	-
Detentores	5 ud	-	5 ud	-	-
Juego de válvulas de esfera	2 ud	-	2 ud	-	-
Soporte	1 ud	-	1 ud	-	-
NO incluye					
Cabezal electrotérmico	5 ud	x1 ud	5 ud	36,6	146,4
Grupo de purgado y vaciado	1 ud	x1 ud	1 ud	36,5	36,5
Racores para tubo 20x2mm	10 ud	Caja x10 ud	10 ud	2,51	2,51
Caja empotrable para colectores	1 ud	x1ud	1 ud	102,87	102,87
Térmometro	2 ud	x1 ud	2 ud	12	24
- Grupo hidráulico	1 ud	x1ud	1 ud	400,69	400,69
Incluye					
Válvula mezcladora	1 ud	-	1 ud	-	-
Soporte del grupo	1 ud	-	1 ud	-	-
NO incluye					
Válvula de tres vías	1 ud	x1 ud	1 ud	36	36
Bomba WILO STAR RS 25/4	1 ud	x1 ud	1 ud	210	210
Juego de racores para la bomba	1 ud	x1 ud	1 ud	11	11
Termómetros	2 ud	x1 ud	2 ud	12	24
Motor para la válvula mezcladora	1 ud	x1 ud	1 ud	121,17	121,17
- Unidad de control	1 ud	x1 ud	1 ud	101,3	101,3
- Termostatos	5 ud	x1 ud	5 ud	7,82	39,1
- Vaso de expansión	1 ud	X1 ud	1 ud	35	35
- Caldera de condensación MICRAPLUS CONDENS 30kW	1 ud	x1 ud	1 ud	1271	1271

marca Hermann					
					6037,83€

Tabla 6.1 Presupuesto suelo radiante.

El presupuesto para llevar a cabo la instalación de suelo radiante, teniendo en cuenta el IVA, tiene la siguiente cuantía:

$$Presupuesto_{sr} = 7305,77 \text{ €}$$

El presupuesto para el sistema de radiadores se elaborado mediante el fabricante Baxiroca [28]

PRESUPUESTO RADIADORES					
	Necesidad	Suministro	Adquisición	€/ud	Precio total €
- Nº de elementos	61 ud	x1ud	61 ud	16,6	1012,6
- Tapón cincado	18 ud	Caja x50 ud	50 ud	0,444	22,5
- Reducción cincada	18 ud	Caja x50 ud	50 ud	0,51	25,5
- Soporte	10 ud	Caja x12 ud	12 ud	1	12
- Purgador PA5	10 ud	Caja x10 ud	10 ud	5,7	57
- Manguitos 194002003	80 ud	Caja x50 ud	100 ud	0,0314	3,14
- Junta de estanqueidad	80 ud	x1 ud	80 ud	0,6	48
- Vaso de expansión	1 ud	X1 ud	1 ud	31,2	31,2
- Bomba WILO STAR RS 25/4	1 ud	x1 ud	1 ud	210	210
- Caldera MICRAPLUS 30KW marca Hermann	1 ud	x1 ud	1 ud	825	825
					2250,75 €

Tabla 6.2 Presupuesto radiadores.

El presupuesto para llevar a cabo la instalación de radiadores, teniendo en cuenta el IVA, tiene el siguiente valor:

$$Presupuesto_r = 2723,4 \text{ €}$$

b) Gasto de gas natural.

Para conocer el gasto de gas natural, es necesario conocer primero el consumo del mismo. Se va a calcular el consumo anual de gas natural debido al funcionamiento

de la caldera para el suministro de calefacción y ACS para los sistemas de calefacción por suelo radiante y radiadores. El consumo de gas natural se calcula mediante [30]:

$$C = \frac{Q \cdot 24 \cdot GD \cdot b \cdot c}{PCI \cdot \eta \cdot (T_{int} - T_{ext,mínima})} + \frac{C_d \cdot C_{p,agua} \cdot d \cdot (T_{consumo} - T_{red,mínima})}{PCI \cdot \eta} \quad (6.1)$$

Donde:

- C: Consumo de gas $\left(\frac{m^3}{año}\right)$.

- Q: Pérdidas de calor del edificio $\left(\frac{Kcal}{hora}\right)$.

- El sistema de suelo radiante tiene la siguiente carga térmica:

$$Q_{sr} = 7,491 \text{ KW} = 6440,8 \left(\frac{Kcal}{hora}\right)$$

- El sistema de radiadores tiene la siguiente carga térmica:

$$Q_r = 7,95 \text{ KW} = 6834,76 \left(\frac{Kcal}{hora}\right)$$

- GD: Grados-día anuales ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{día}$). Su cálculo se muestra posteriormente.

- c: Factor de uso de la instalación = 1.

- b: Factor de intermitencia de la instalación = 0,7.

- η : Rendimiento de la caldera. Cada sistema de calefacción está dotado de una determinada caldera con un rendimiento determinado, para las calderas elegidas se tiene:

$$\eta_{condensación} = 1,092$$

$$\eta_{convencional} = 0,93$$

- PCI: Poder calorífico inferior del gas natural = $9500 \left(\frac{Kcal}{m^3}\right)$.

- $T_{consumo}$: Temperatura de consumo del agua = 40°C

- $T_{ext,mínima}$: Temperatura exterior mínima = -7°C

- C_d : Consumo diario de ACS $\left(\frac{l}{día}\right)$.

$$C_d = 28 \cdot 4 \text{ l/día} = 112 \frac{\text{l}}{\text{día}}$$

- d : Número de días anuales de uso de ACS = 340 días.

- $T_{red,mínima}$: Temperatura de la red mínima = 5°C

Para calcular el consumo, se debe hallar los grados día anuales. El procedimiento para su cálculo se muestra a continuación:

Los grados día anuales corresponde al sumatorio de la diferencia entre temperatura interior de la vivienda y temperatura exterior correspondiente a las veinticuatro horas que constituyen un día, multiplicado por los días que forman un periodo anual de utilización de la instalación de calefacción, tal y como se expresa a continuación [30]:

$$GD = \sum_{\text{días}} \frac{1}{24} \cdot \sum_{24} (T_{int} - T_{ext}) \quad (6.2)$$

La suma de las diferencias de temperatura se puede descomponer como:

$$\sum_{24} (T_{int} - T_{ext}) = (T_{int} - T_{ext,1}) + (T_{int} - T_{ext,2}) + \dots + (T_{int} - T_{ext,24}) \quad (6.3)$$

Sacando factor común de la temperatura interior:

$$\sum_{24} (T_{int} - T_{ext}) = 24 \cdot T_{int} - \sum T_{ext} \quad (6.4)$$

Y teniendo presente que la temperatura media de las veinticuatro horas del día es:

$$T_m = \frac{\sum T_{ext}}{n} \quad (6.5)$$

Las temperaturas hora a hora usadas se obtienen de [14]. Mediante la ecuación 6.5 puede obtenerse la temperatura media exterior durante el periodo de calefacción (número de días de calefacción anuales es igual a 151 días) obteniendo un valor de:

$$T_m = 6,602^\circ\text{C}$$

Ya se dispone de todos los datos necesarios para el cálculo de los grados día anuales, mediante [30]:

$$GD = n^{\circ}_{\text{días}} \cdot (T_{int} - T_m) \quad (6.6)$$

A continuación se calculan los grados día y el consumo de gas natural para cada sistema de calefacción.

Para el sistema de suelo radiante se ha considerado una $T_{int} = 20^{\circ}\text{C}$ [12]. Con este valor se tienen los siguientes grados día:

$$GD = n^{\circ}_{días} \cdot (T_{int} - T_m) = 151 \cdot (20 - 6,602) = 2023,1 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{día}$$

El sistema de suelo radiante produce un consumo anual de:

$$C_{sr} = \frac{6440,8 \cdot 24 \cdot 2023,1 \cdot 0,7 \cdot 1}{9500 \cdot 1,092 \cdot (20 + 7)} + \frac{112 \cdot 1 \cdot 340 \cdot (40 - 5)}{9500 \cdot 1,092} = 910 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$$

Para el sistema de radiadores se ha considerado una $T_{int} = 22^{\circ}\text{C}$ [28]. Con este valor se tienen los siguientes grados día:

$$GD = n^{\circ}_{días} \cdot (T_{int} - T_m) = 151 \cdot (22 - 6,602) = 2325,1 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{día}$$

El sistema de radiadores consume anualmente:

$$C_r = \frac{6834,76 \cdot 24 \cdot 2325,1 \cdot 0,7 \cdot 1}{9500 \cdot 0,93 \cdot (22 + 7)} + \frac{112 \cdot 1 \cdot 340 \cdot (40 - 5)}{9500 \cdot 0,93} = 1192,85 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$$

Conocido el consumo de gas natural anual producido en cada sistema de calefacción, se procede a determinar el precio del mismo. Para ello debe elegirse primero una de las empresas suministradoras de gas en España y elegir una tarifa adecuada para la vivienda. En el presente proyecto se ha establecido un contrato con la empresa suministradora de gas natural Gas Natural Fenosa [31], la cual tiene las siguientes tarifas:

Tipo de consumo	Consumo kWh/año	Tarifa aconsejada	Término fijo €/mes	Término variable €/kWh
Consumo bajo (cocina y agua caliente)	<5.000	Gas Básica	4,38	0,05727308
Consumo medio (cocina, agua caliente, y calefacción)	<15.500	Gas Óptima	8,88	0,05039908
Consumo medio-alto (cocina, agua caliente y calefacción en casas de gran tamaño)	>=15.500	Gas Familia	11,15	0,04875812
Consumo alto (consumos entre 50.000 y 100.000 kWh/año)	50.000 - 100.000	Plan Energía Gas 3.3	54,22	0,05277

Figura 6.1 Tarifas Gas Natural Fenosa [31].

Para la vivienda en estudio, se ha elegido la tarifa “Gas Óptima” debido que la demanda anual de la vivienda es menor que 15500 $KWh/año$. Como se puede observar, esta tarifa presenta un término fijo de 8,88 €/mes más un término variable de 0,0504 €/KWh. Para conocer el precio del consumo de gas respecto al término

variable se aplica un factor de conversión [32] para transformar las unidades de masa o volumen en unidades de energía, según el tipo de combustible, que representa el valor calorífico de los combustibles. Son los siguientes:

COMBUSTIBLE	FACTOR DE CONVERSIÓN ⁵
Gas natural (m ³)	10,65 kWh/Nm ³ de gas natural ⁵
Gas butano (kg)	12,44 kWh/kg de gas butano
Gas propano (kg)	12,83 kWh/kg de gas propano
Gasoil (litros)	11,78 kWh/kg de gasoil
Fuel (kg)	11,16 kWh/kg de fuel
GLP genérico (kg)	12,64 kWh/kg de GLP genérico
Carbón nacional (kg)	5,70 kWh/kg de carbón nacional
Carbón de importación (kg)	7,09 kWh/kg de carbón de importación
Coque de petróleo (kg)	9,03 kWh/kg de coque de petróleo

Figura 6.2 Factor de conversión según tipo de combustible [32].

Se tiene entonces un consumo en KWh de:

$$C_{sr} = 9691,5 \text{ KWh}$$

$$C_r = 12703,85 \text{ KWh}$$

Cada sistema de calefacción produce el gasto anual siguiente:

$$Gasto_{sr} = 8,88 \cdot 12 + 9691,5 \cdot 0,0504 = 595,012 \frac{\text{€}}{\text{año}} \quad (6.8)$$

$$Gasto_r = 8,88 \cdot 12 + 12703,85 \cdot 0,0504 = 746,83 \frac{\text{€}}{\text{año}} \quad (6.9)$$

El ahorro de combustible al año es de 151,82 €/año (alrededor al 20%).

c) Período de amortización

Una vez conocida la inversión y el gasto de combustible producido por cada sistema de calefacción, se realiza un estudio sobre la viabilidad económica de la instalación de suelo radiante frente al sistema de radiadores. La vida útil del sistema de suelo radiante se estima entorno a los 50 años [33].

Para conocer si se produce la amortización de la instalación del suelo radiante dentro del tiempo de vida de la instalación, se utiliza la herramienta conocida como Valor Actual Neto (VAN), que toma la siguiente expresión:

$$VAN = A_{comb} \cdot \sum_{i=1}^t \left(\frac{1 + C_{comb}}{1 + i} \right)^t - C_{mto} \cdot \sum_{i=1}^t \left(\frac{1 + f_i}{1 + i} \right)^t - I_0 \quad (6.10)$$

Donde;

A_{comb} : Ahorro anual de combustible con respecto a radiadores. Tiene un valor de 151,82 €/año.

C_{comb} : Incremento del coste del combustible. Se estima un valor del 11% [34].

C_{mto} : Coste de mantenimiento. Para el sistema de suelo radiante, se considera como un 0,5% de la inversión inicial mientras que para el sistema de radiadores se ha considerado nulo.

i : Tasa de interés. Se estima un valor del 1,5%.

f_i : Tasa de inflación. Se estima un valor del 2% [23].

t : Tiempo de funcionamiento de la instalación.

I_0 : Este valor corresponde a la diferencias de presupuestos entre ambos sistemas de calefacción. Tiene una cuantía de 4582,37 €.

Quando $VAN = 0$, se habrá alcanzado el tiempo de retorno de la inversión, es decir, el sistema de suelo radiante será más rentable que sistema de radiadores. En este caso, según se muestra en la Figura 6.3, se produce a los años 15.

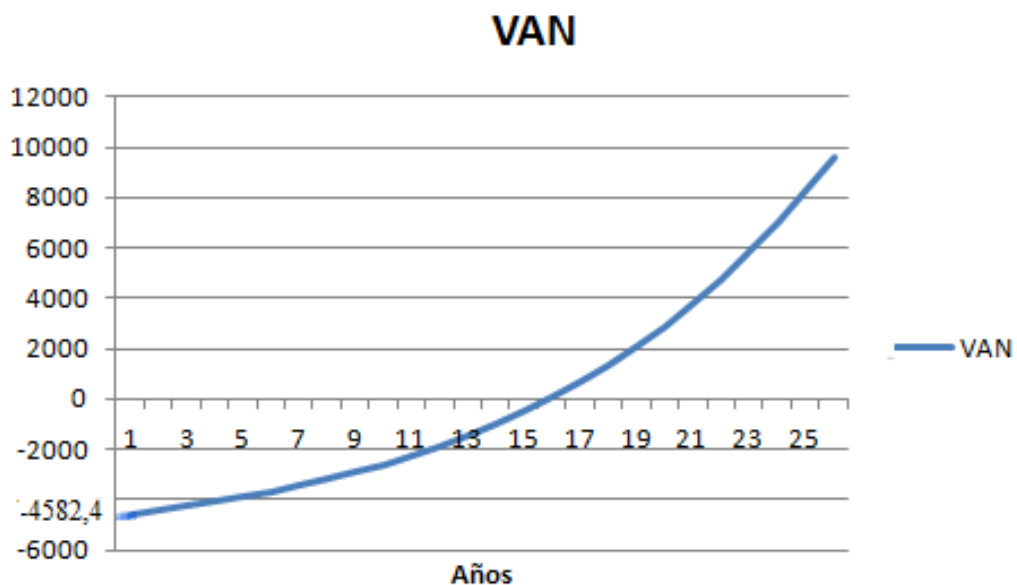


Figura 6.3 VAN

6.2 Estudio ambiental.

En este apartado se hace hincapié sobre las emisiones de CO_2 . Además se calculará el ahorro de emisiones de CO_2 que se adquiere al tener una instalación de suelo radiante respecto a un sistema de calefacción convencional, ya que se ahorra un considerable porcentaje de gas natural en la caldera para la producción de agua caliente sanitaria y calefacción.

El CO_2 es un gas de “Efecto Invernadero”. El “Efecto Invernadero” consiste en la absorción, por parte de gases que se encuentran en las capas bajas de la atmósfera, de la radiación infrarroja procedente de la tierra, transformándola en calor. De toda la radiación procedente del sol, el 30% es reflejado al espacio y el 70% restante calienta la materia y ésta emite por ese calentamiento radiación infrarroja, que es la que es absorbida por los gases. De esta forma se forma una capa protectora de calor que origina temperaturas templadas en la superficie terrestre, al impedir su enfriamiento. Este fenómeno es el utilizado en los invernaderos.

Las consecuencias de un aumento del efecto invernadero no se conoce con exactitud. Sin embargo existen estudios y datos que parecen indicar un consecuente aumento de la temperatura media de la atmósfera.

El principal causante del efecto invernadero es el vapor de agua, pero además también contribuyen a este efecto otra serie de contaminantes, los cuales pueden verse en la Tabla 6.3.

Gas
CO_2
CH_4
N_2O
CFC _s
O_3 troposférico
Otros

Tabla 6.3 Contaminantes.

Para combatir el gran aumento de emisiones de gases de efecto invernadero se estableció el Protocolo de Kioto.

El Protocolo de Kioto, acuerdo adoptado en diciembre de 1997 en la 3ª Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, establece en algo más de un 5% la reducción global de las emisiones

de los seis principales gases de efecto invernadero (GEI) en el período de compromiso 2008-2012 respecto a los valores de 1990. Los objetivos individuales de reducción de las emisiones de GEI por países se determinaron teniendo en cuenta la necesidad de mantener un crecimiento económico sostenible, así como la disponibilidad de tecnologías en cada uno de los Estados, de tal forma que, para la Unión Europea, el objetivo de reducción quedó establecido en el 8%, para EE.UU. en el 7% y para Japón en el 6%.

La Convención Marco sobre Cambio Climático y el Protocolo de Kioto, (el artículo 25 del mismo establece que éste entraría en vigor una vez fuera sido ratificado por, al menos, un número de países cuyas emisiones totales representaran, por lo menos, el 55% del total de las emisiones de dióxido correspondientes a 1990), han reconocido expresamente lo que se ha dado en llamar la burbuja comunitaria, dentro de la cual España tiene limitado el crecimiento de las emisiones de los seis gases de efecto invernadero considerados en el Protocolo en un 15% en el período de referencia 2008-2012 respecto a las emisiones de 1990. En la actualidad, a España le está saliendo caro cumplir con el protocolo de Kioto. La Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA) advierte de ello en un informe reciente: España es uno de los país europeo que necesita comprar más derechos de emisión de CO_2 en proporción a sus emisiones. Solo así puede compensar las toneladas de más que ha enviado a la atmósfera y cumplir sus compromisos. Tanto es así, que entre los años 2008-2012 gastó más de 800 millones de euros en comprar derechos de emisión de CO_2 [35].

- Ahorro de emisiones de CO_2

Por todo lo explicado anteriormente, se van a estudiar las emisiones de CO_2 producidas en nuestra instalación usando gas natural comparándolas con las producidas si la instalación utilizada fuera una convencional por medio de radiadores. En la siguiente tabla [32] se muestran la cantidad de CO_2 emitida por los distintos combustibles:

COMBUSTIBLE	FACTOR DE EMISIÓN ⁷
Gas natural (m ³)	2,15 kg CO_2 /Nm ³ de gas natural
Gas butano (kg)	2,96 kg CO_2 /kg de gas butano
Gas butano (número de bombonas)	37,06 kg CO_2 /bombona (considerando 1 bombona de 12,5 kg)
Gas propano (kg)	2,94 kg CO_2 /kg de gas propano
Gas propano (número de bombonas)	102,84 kg CO_2 /bombona (considerando 1 bombona de 35 kg)
Gasoil (litros)	2,79 kg CO_2 /l de gasoil ⁸
Fuel (kg)	3,05 kg CO_2 /kg de fuel
GLP genérico (kg)	2,96 kg CO_2 /kg de GLP genérico
Carbón nacional (kg)	2,30 kg CO_2 /kg de carbón nacional
Carbón de importación (kg)	2,53 kg CO_2 /kg de carbón de importación
Coque de petróleo (kg)	3,19 kg CO_2 /kg de coque de petróleo

Figura 6.4 Emisiones de CO_2 según tipo de combustible [32].

El sistema de suelo radiante emite la siguiente cantidad de CO_2 :

$$Emisión\ CO_{2\ sr} = 910 \frac{m^3}{año} \cdot 2,15 \frac{Kg\ CO_2}{m^3} = 1956,5 \frac{Kg\ CO_2}{año} \quad (6.12)$$

Y el de radiadores:

$$Emisión\ CO_{2\ r} = 1192,85 \frac{m^3}{año} \cdot 2,15 \frac{Kg\ CO_2}{m^3} = 2564,63 \frac{Kg\ CO_2}{año} \quad (6.13)$$

Se tiene entonces el siguiente ahorro de emisiones de CO_2 :

$$Ahorro\ de\ emisiones\ CO_2 = Emisión\ CO_{2\ r} - Emisión\ CO_{2\ sr} \quad (6.14)$$

$$Ahorro\ de\ emisiones\ CO_2 = 2564,63 - 1956,5 = 608,13 \frac{Kg\ CO_2}{año}$$

O lo que es lo mismo, se dejan de emitir al año **0,608 Tm de CO_2** .

7. CONCLUSIONES

- La vivienda en estudio se trata de un ejemplo ficticio, la cual está situada en Miranda de Ebro (Burgos). Cuenta con un superficie de $150m^2$ y un volumen de $525m^3$. Se ha diseñado la envolvente de la misma para que cumpla las exigencias del CTE.
- Para el cálculo de carga térmica máxima del sistema de suelo radiante, se han establecido las siguientes temperaturas: $T_{ext} = -7^\circ\text{C}$ y $T_{int} = 20^\circ\text{C}$. Con dichas temperaturas se ha obtenido una carga térmica máxima para el sistema de suelo radiante de $Q_{m\acute{a}x} = 7491,31 \text{ W}$.
- La demanda anual de calefacción para un año tipo en el clima de referencia de la zona climática de Miranda de Ebro dado por el CTE es de $11017,84 \text{ KWh}$.
- La demanda anual de ACS, para una $T_{consumo} = 40^\circ\text{C}$, es de $2368,1 \text{ KWh}$.
- La potencia térmica instantánea para ACS tiene un valor de $Q_{ACS} = 21909,9 \text{ W}$.
- Para la estancia de diseño del sistema de suelo radiante, se ha obtenido:
 - El flujo de calor máximo es de $q = 70,8 \text{ W/m}^2$.
 - La temperatura de impulsión es $\theta_V = 41,32^\circ\text{C}$.
 - La temperatura de suelo es $\theta_{F,m} = 26,57^\circ\text{C}$.
- La longitud de tubo total de los circuitos es $L = 560,35 \text{ m}$.
- El caudal total de agua que fluye por los circuitos es $m_{H,total} = 0,27 \text{ l/s}$.
- La pérdida de carga máxima es $\Delta P_{m\acute{a}x} = 21167 \text{ Pa}$.
- El suelo radiante requiere de una inversión inicial de $7305,77\text{€}$ mientras que la del sistema de radiadores es de $2723,4\text{€}$.
- El sistema de suelo radiante produce un ahorro de combustible con respecto al sistema de radiadores de $282,85 \text{ m}^3/\text{año}$, que da lugar a un ahorro económico de $151,82 \text{ €/año}$ (en torno al 20%).
- El sistema de suelo radiante es rentable a partir de los 15 años.
- Utilizando un sistema de suelo radiante en vez de radiadores se dejan de emitir $0,608 \text{ Tm}$ de CO_2 al año.
- En definitiva, el sistema de suelo radiante resulta mejor opción que el sistema de radiadores, tanto económica como ambientalmente.

8. NOMENCLATURA

a: Coeficiente dependiente de la energía en empleada en el sistema de calefacción ($\frac{W}{m^3 \cdot K}$).

A_{comb}: Ahorro anual de combustible (€).

A_F: Superficie de la zona de calefacción (m^2).

a_i: Parámetros (calculados o tomados de las tablas) para el cálculo de las curvas características, $i = B, D, K, T, u, WL$.

b: Factor de intermitencia de la instalación.

B, B_o: Coeficientes que dependen del sistema para el cálculo de curvas características ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$).

B_G: Coeficientes que dependen del sistema para el cálculo de curvas límite ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$).

c: Factor de uso de la instalación.

C: Consumo (m^3/s).

C₁: Techo o cubierta ($\frac{Kg}{s}$).

C_{agua,i}: Consumo de ACS para el mes i ($\frac{m^3}{día}$).

C_{comb}: Incremento del coste del combustible (%).

C_{mto}: Coste de mantenimiento (%).

c_p: Calor específico ($\frac{J}{K \cdot Kg}$).

C_r: Consumo anual de gas natural del sistema de radiadores ($\frac{m^3}{año}$).

C_{sr}: Consumo anual de gas natural del sistema de suelo radiante ($\frac{m^3}{año}$).

d: Número de días anuales de uso de ACS.

D_{ext}: Diámetro exterior del tubo de suelo radiante (m).

D_{int}: Diámetro interior del tubo de suelo radiante (m).

dT: Diferencia de temperatura entre el interior y el exterior en el sistema de suelo radiante (°C).

dT_{cb} : Diferencia de temperatura entre el interior y el exterior en el cuarto de baño en el sistema de suelo radiante ($^{\circ}\text{C}$).

e : Espesor de la capa del cerramiento (m).

f : Factor de fricción.

f_i : Tasa de inflación (%).

f_f : Factor de forma del edificio (m^{-1}).

GD : Grados día anuales ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{día}$)

H : Ventana.

h_{ext} : Coeficiente superficial de transmisión de calor exterior ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$).

h_{int} : Coeficiente superficial de transmisión de calor interior ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$).

i : Tasa de interés (%).

I_0 : Inversión inicial (€).

K_G : Coeficiente global de transferencia de calor ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$).

K_i : Coeficiente de pérdidas de carga secundarias.

k_p : Factor de simultaneidad.

l : Longitud entre el colector y al estancia a calefactar (m).

L : Longitud total de tubo de un circuito de suelo radiante (m).

M_1 : Muro de fachada.

m_H : Caudal de diseño del fluido calefactor ($\frac{Kg}{s}$).

m_i : Exponentes para el cálculo de las curvas características, $i = m_T, m_U, m_D$.

n_G : Exponente para la diferencia de temperatura de una curva límite.

n_r : Exponente de la curva característica para radiadores.

PCI : Poder calorífico inferior ($\frac{Kcal}{m^3}$).

q : Potencia térmica específica ($\frac{W}{m^2}$).

Q : Carga ó potencia térmica (W).

Q_{50} : Potencia entregada por el elemento del radiador para $\Delta T = 50^{\circ}C$ (W).

Q_{C1} : Carga térmica del techo (W).

Q_H : Carga térmica de la ventana (W).

Q_{M1} : Carga térmica del muro de fachada (W).

q_G : Límite de la potencia térmica específica $\left(\frac{W}{m^2}\right)$.

q_{inst} : Caudal instantáneo $\left(\frac{m^3}{s}\right)$.

q_j : Potencia térmica específica en las estancias con $q < q_{m\acute{a}x}$, operado al mismo valor $\theta_{V,des}$ $\left(\frac{W}{m^2}\right)$.

$q_{m\acute{a}x}$: Valor más alto de la potencia térmica específica de los circuitos operados con el mismo valor de $\theta_{V,des}$ $\left(\frac{W}{m^2}\right)$.

$Q_{m\acute{a}x}$: Carga o potencia térmica máxima (W).

Q_{S1} : Carga térmica del suelo (W).

q_u : Flujo de calor descendente $\left(\frac{W}{m^2}\right)$.

q_v : Caudal de ventilación mínimo exigido $\left(\frac{l}{s}\right)$.

R : Resistencia térmica $\left(\frac{m^2 \cdot K}{W}\right)$.

$R_{\alpha,techo}$: Resistencia al intercambio térmico en el techo por debajo de la sala con calefacción por suelo $\left(\frac{m^2 \cdot K}{W}\right)$.

$R_{\lambda,B}$: Resistencia térmica del revestimiento del suelo $\left(\frac{m^2 \cdot K}{W}\right)$.

$R_{\lambda,ins}$: Resistencia térmica del aislamiento térmico $\left(\frac{m^2 \cdot K}{W}\right)$.

$R_{\lambda,techo}$: Resistencia térmica de la estructura del techo debajo de la capa de aislamiento $\left(\frac{m^2 \cdot K}{W}\right)$.

R_o : Resistencia a la transmisión de calor parcial hacia arriba de la estructura del suelo $\left(\frac{m^2 \cdot K}{W}\right)$.

R_{se} : Resistencia térmica por convección exterior $\left(\frac{m^2 \cdot K}{W}\right)$.

R_{si} : Resistencia térmica por convección interior $\left(\frac{m^2 \cdot K}{W}\right)$.

R_t : Resistencia térmica total $\left(\frac{m^2 \cdot K}{W}\right)$.

R_u : Resistencia a la transmisión de calor parcial hacia abajo de la estructura del suelo $\left(\frac{m^2 \cdot K}{W}\right)$.

Re : Número de Reynolds.

S : Superficie (m^2).

S_1 : Suelo.

S_{C1} : Superficie del techo o cubierta (m^2).

S_e : Superficie de cerramientos en contacto con el ambiente exterior (m^2).

S_H : Superficie de la ventana (m^2).

S_{M1} : Superficie del muro de la fachada (m^2).

S_n : Superficie de cerramientos de separación con otros edificios o con locales no calefactados (m^2).

s_R : Espesor del tubo de suelo radiante (m).

S_{S1} : Superficie del suelo (m^2).

S_T : Superficie total (m^2).

s_U : Espesor de la capa (pavimento) por encima del tubo (m).

t : Tiempo de funcionamiento de la instalación (años).

T : Separación entre tubos (m).

T : Temperatura ($^{\circ}C$).

T_e : Temperatura de entrada del agua en sistema de radiadores ($^{\circ}C$).

T_{ext} : Temperatura exterior ($^{\circ}C$).

T_{int} : Temperatura exterior ($^{\circ}C$).

$T_{int,cb}$: Temperatura interior del cuarto de baño en el sistema de suelo radiante ($^{\circ}C$)

$T_{red,i}$: Temperatura media del agua de la red en el mes i ($^{\circ}\text{C}$).

T_s : Temperatura de salida del agua en sistema de radiadores ($^{\circ}\text{C}$).

U : Transmitancia térmica ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$).

U_{C1} : Transmitancia térmica del techo ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$).

U_e : Transmitancia térmica de cerramientos en contacto con el exterior ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$).

U_H : Transmitancia térmica de las ventanas ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$).

U_{S1} : Transmitancia térmica del suelo ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$).

U_{M1} : Transmitancia térmica de los muros de fachada ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$).

U_{lim} : Transmitancia térmica límite ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$).

V : Velocidad ($\frac{m}{s}$).

V_e : Volumen vivienda (m^3).

VAN : Valor actual neto (€).

α : Coeficiente de transmisión térmica ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$).

$\Delta\theta_H$: Diferencia de temperatura entre el fluido de calefacción y la sala ($^{\circ}\text{C}$).

$\Delta\theta_{H,m\acute{a}x}$: Diferencia de temperatura de diseño entre el fluido de calefacción y la sala ($^{\circ}\text{C}$).

$\Delta\theta_{H,G}$: Valor límite de la diferencia de temperatura entre el fluido de calefacción y la sala ($^{\circ}\text{C}$).

$\Delta\theta_{H,j}$: Diferencia de temperatura de diseño entre el fluido de calefacción y la sala determinado por q_j en circuitos operados al mismo valor de $\theta_{V,des}$ ($^{\circ}\text{C}$).

$\Delta\theta_{V,m\acute{a}x}$: Diferencia de temperatura de diseño entre el fluido de calefacción y la sala, determinada para la sala con $q_{m\acute{a}x}$ ($^{\circ}\text{C}$).

ΔP : Pérdida de carpa (Pa).

ΔT_e : Diferencia entre la temperatura de entrada y la temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$).

ΔT_s : Diferencia entre la temperatura de salida y la temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$).

ε : Rugosidad relativa.

θ : Temperatura ($^{\circ}\text{C}$).

$\theta_{F,m}$: Temperatura media de la superficie del suelo ($^{\circ}\text{C}$).

$\theta_{F,m\acute{a}x}$: Valor límite de la temperatura superficial del suelo ($^{\circ}\text{C}$).

θ_i : Temperatura interior ($^{\circ}\text{C}$).

θ_R : Temperatura de retorno del fluido de calefacción ($^{\circ}\text{C}$).

θ_V : Temperatura de impuls n (suministro) del fluido de calefacción, determinada para la sala con $q_{m\acute{a}x}$ ($^{\circ}\text{C}$).

λ : Conductividad térmica del material que compone la capa del cerramiento ($\frac{W}{m \cdot K}$).

λ_E : Conductividad térmica de la capa (mortero, madera) por encima del tubo ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$).

λ_R : Conductividad térmica del material que compone el tubo utilizado en suelo radiante ($\frac{W}{m^2 \cdot K}$).

μ : Viscosidad dinámica ($\frac{Kg}{m \cdot s}$).

ρ : Densidad ($\frac{kg}{m^3}$).

σ : Descenso de la temperatura del fluido de calefacción $\theta_V - \theta_R$ en general, pero también usado para el valor de diseño en caso del circuito de la sala con $q_{m\acute{a}x}$ ($^{\circ}\text{C}$).

σ_j : Descenso de la temperatura del fluido de calefacción en el circuito de calefacción en las salas con $q_j < q_{m\acute{a}x}$, operado al mismo valor de $\theta_{V,des}$ ($^{\circ}\text{C}$).

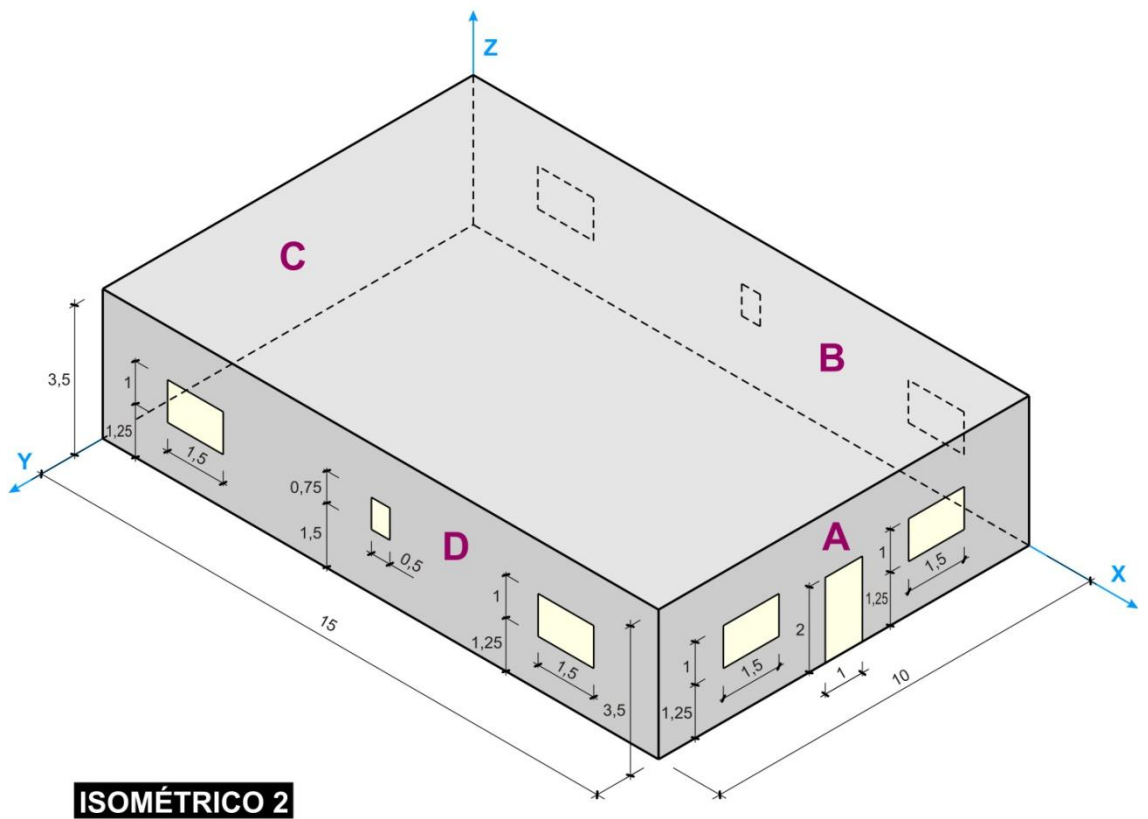
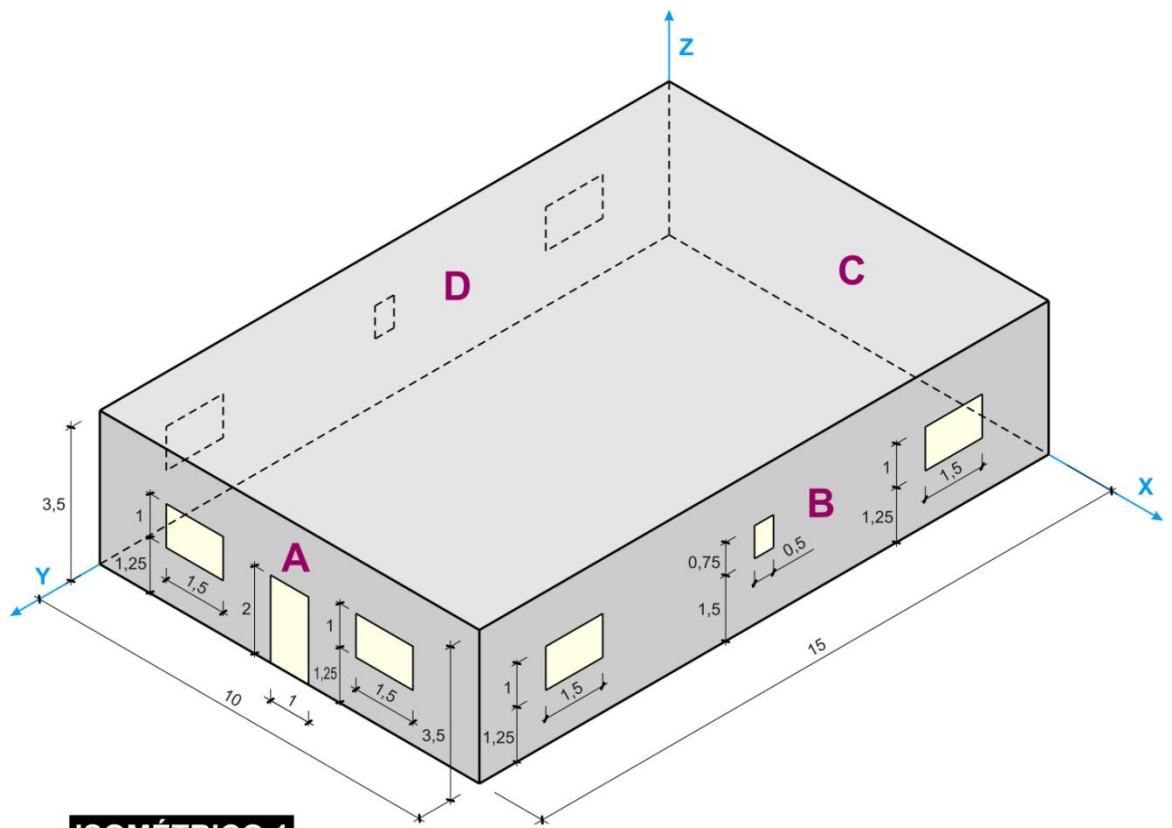
9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Temperaturas de trabajo en calderas
(<http://www.instalacionesyeficienciaenergetica.com/2013/07/caldera-de-condensacion-y-de-baja.html#.U4UHSCim7js>).
- [2] ATECOS
(http://www.miliarium.com/ATECOS/HTML/Soluciones/Fichas/Calderas_combustion_convencionales.pdf).
- [3] SOLiCLIMA (<http://www.soliclima.es/radiadores-de-bajo-consumo>).
- [4] Wikipedia (http://es.wikipedia.org/wiki/Suelo_radiante).
- [5] Manual Técnico Biofloor
(<http://www.standardhidraulica.com/uploads/descargas/9/fileES/Manual%20t%C3%A9cnico%20Biofloor.pdf>).
- [6] Descripción suelo radiante UPONOR
(http://www.pozuelodealarcon.org/recursos/doc/Vivir_Pozuelo/Consumo/II_Ciclo_Ahorro_Energia/27302_251025102012124631.pdf)
- [7] Agencia Estatal de Meteorología (<http://www.aemet.es/es/portada>).
- [8] Código Técnico de la Edificación (CTE) (actualizado año 2013).
- [9] Fundamentos de Transferencia de Calor/Incropera y DeWitt/Pearson/1999
- [10] Norma Básica de la Edificación (NBE-CT-79) (año 1979).
- [11] UNE 100001 “Condiciones climáticas para proyectos” (año 2001).
- [12] UNE-EN-1264 “Calefacción por suelo radiante” (año 2012).
- [13] Chaffoteaux “Instalaciones eficientes de calefacción”
(http://www.chaffoteaux.es/noticias/ch_es/Chaffoteaux_Instalaciones%20Eficientes%20de%20Calefacci%C3%B3n.pdf).
- [14] Climas de Referencia
(<http://www.codigotecnico.org/web/recursos/documentos/>).
- [15] Demanda de ACS (<http://es.scribd.com/doc/75858733/calculo-demanda-ACS>).
- [16] Parámetros de diseño estándar del suelo radiante (<http://www.uponor.es/a-tu-servicio/preguntas-frecuentes.aspx>).
- [17] Mecánica de fluidos/Frank M. White/McGraw-Hill/2008.
- [18] Norma UNE 149201 “Abastecimiento de agua. Dimensionado de instalaciones de agua para consumo humano dentro de los edificios” (año 2008).

- [19] Manual tecno-comercial UPONOR (<http://www.uponor.es>, año 2014).
- [20] Catálogo tuberías fabricante Roth (http://www.roth-spain.com/files/Colectores_HKV_ES-Pt-Rev_00.pdf).
- [21] Wilo (<http://www.wilo.es/inicio/#.U6AtSSjm7js>).
- [22] Hermann (<http://www.calderas-hermann.es/>).
- [23] PFC “Diseño de una instalación de ACS y calefacción por suelo radiante para una vivienda unifamiliar mediante energía solar fotovoltaica”/Mario Pérez Basa/2009.
- [24] Norma UNE 100155 “Climatización. Diseño y cálculo de sistemas de expansión” (año 2004).
- [25] Catálogo tecno-comercial Salvador Escoda (http://www.salvadorescoda.com/tarifas/Suelo_Radiante_Tarifa_PVP_SalvadorEscoda.pdf).
- [26] Catálogo tecno-comercial Roth (http://www.roth-spain.com/files/R167_Tarifa_Catalogo_Suelo_Radiante.pdf).
- [27] Scribd “Calefacción por radiadores”
<http://es.scribd.com/doc/21388263/Calefaccion-Par-Radiadores-1>).
- [28] Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) (actualizado año 2013).
- [29] Catálogo tecno-comercial Baxiroca (http://www.salvadorescoda.com/tecnico/CE/Catalogo_BaxiRoca_2011.pdf).
- [30] PFC “Proyecto de instalación de calefacción y ACS en 17 viviendas, empleando gas natural como medio energético”.
- [31] Gas Natural Fenosa (<http://www.gasnaturalfenosa.es/es/hogar/productos+y+servicios/tarifas+de+energia/1285340342233/tarifas+precio+libre.html>).
- [32] Guía para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (año 2011).
- [33] Solargal (<http://www.solargal.com/faq/el-suelo-radiante-puede-provocar-varices-5637.html>).
- [34] Nova energía (<http://www.gealianova.com/secciones/geotermia/documentos/comparativa.pdf>).
- [35] Actualidad española sobre emisiones de CO_2 (http://sociedad.elpais.com/sociedad/2013/11/03/actualidad/1383513464_110043.html).

10. ANEXOS

10.1 Anexo I: Planos de la vivienda.



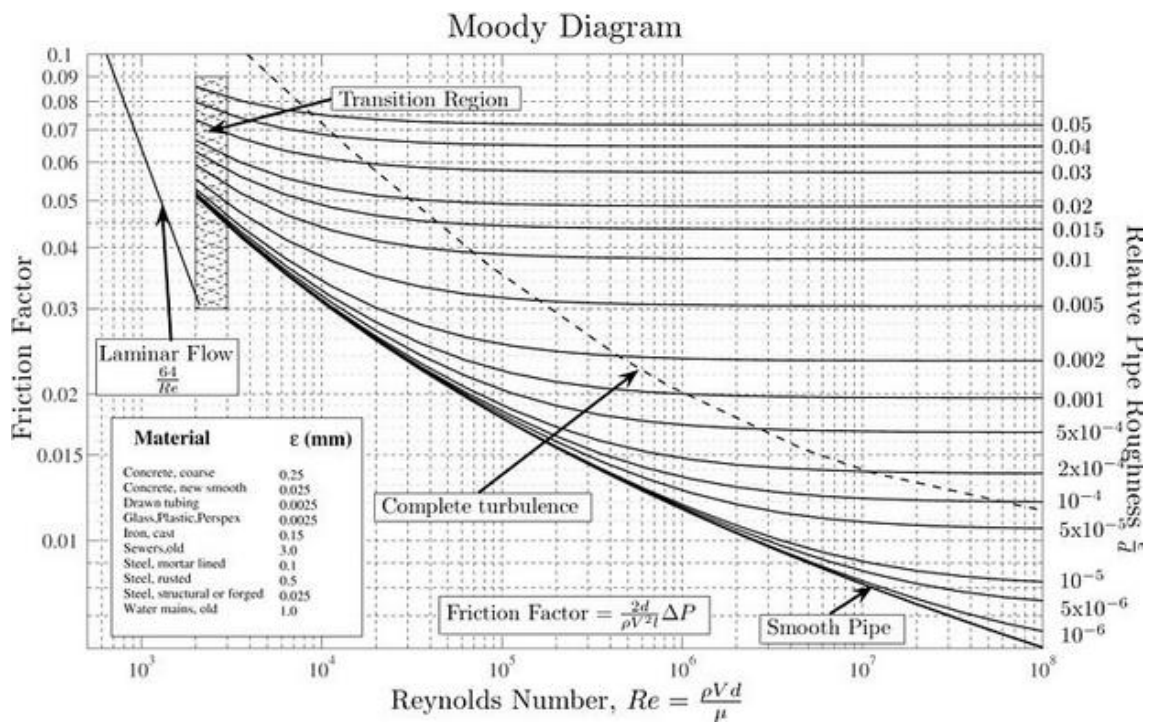
10.2 Anexo II: Resultados de la demanda diaria de calefacción en KWh.

Día	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
1	81,36	70,03	62,6	66,98	67,84
2	81,33	86,85	67,17	66,87	72,22
3	77,24	60	63,8	71,2	79,19
4	74,14	66,9	73,33	93,37	82,68
5	68,08	79,27	75,28	76,08	80,24
6	67,67	81,52	85,21	86,04	73,14
7	68,45	81,24	82,16	76,53	79,02
8	49,31	76,44	89	91,65	95,4
9	46,47	85,88	93,67	87,96	87,26
10	39,5	82	90,31	80,55	85,13
11	34,71	96	85,04	79,75	74,22
12	51,1	70,95	107,43	79,72	79,83
13	57,02	84,8	97,67	68,95	69,06
14	57,6	67,37	98,61	110,71	65,51
15	74,53	68,37	114,68	96,12	56,68
16	68,68	54,16	94,67	70,14	52,94
17	62,46	74,05	88,43	65,37	35,96
18	70,61	55,43	82,67	76,22	43,14
19	41,51	63,15	73,36	67,65	42,06
20	50,52	67	76,83	63,6	63,37
21	67,84	96,34	68,78	54	59,54

Día	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
22	62,7	73,86	69,61	49,51	42,39
23	55,24	93,7	83,52	59,74	50,61
24	78,91	98,31	96,23	59,18	49,94
25	66,17	109,1	88,84	65,45	58,32
26	74,14	101,44	69,67	70,01	62,9
27	74,67	95,34	73,2	57,66	44,03
28	85,43	98,83	85,65	55,35	46,22
29	91,79	89,15	77,54		60,93
30	87,51	80,33	77,14		46,06
31		94,95	64,12		36,48

10.3 Anexo III: Diagramas.

- Diagrama de Moody:



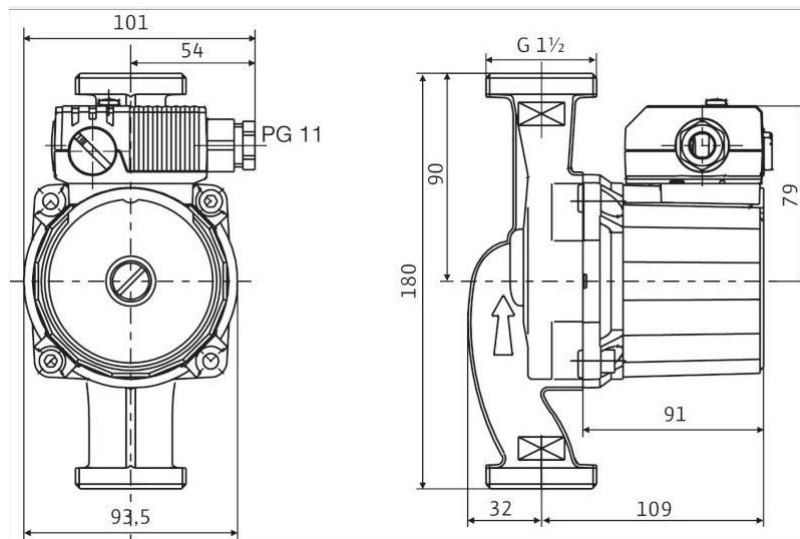
10.4 Anexo IV: Especificaciones de componentes.

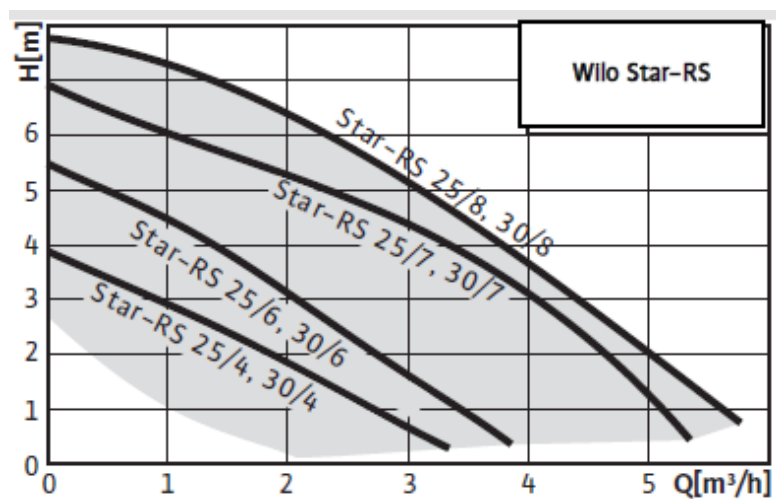
- Especificación de componentes de suelo radiante.

- Especificaciones de la bomba:

Wilo-Star-RS 25/4

Fluidos admisibles.
Caudal máx.: 4 m ³ /h
Altura de impulsión máx.: 4 m
Campo de aplicación autorizado
Rango de temperaturas con temperatura ambiente máx. +40 °C: -10...+110 °C
Rango de temperaturas para aplicación en sistemas de recirculación de ACS a una temperatura ambiente máx. de +40 °C en servicio de corta operación 2 h [°C]: 0 °C
Presión de trabajo máxima admisible: 10 bar
Motor/componentes electrónicos
Velocidad: 2350 / 2630 / 2720 rpm
Potencia nominal del motor: 15,5 W / W9,5 / W5,5 W
Consumo de potencia 1~230 V: 28 / 38 / 48 W
Materiales
Carcasa de la bomba: Fundición gris (EN-GJL-200)
Rodete: Plástico (PP - 40% GF)
Eje de la bomba: Acero inoxidable (X40Cr13)
Cojinete: Carbono, impregnado de metal





- Especificaciones de la caldera de condensación:

Característica	Unidad	25 kW	30 kW
Categoría del gas		I12H3P	I12H3P
Calefacción			
Potencia útil min a 80°C/60°C (P min.)	kW	4.9	5.9
Potencia útil máx a 80°C/60°C (P max.)	kW	18.1	24.5
Potencia útil min a 50°C/30°C (P min.)	kW	5.4	6.6
Potencia útil máx a 50°C/30°C (P max.)	kW	19.6	26.7
Rendimiento sobre el P.C.I. a 80°C/60°C	%	97.7	97.7
Rendimiento sobre el P.C.I. a 50°C/30°C	%	106.2	106.8
Rendimiento con carga parcial (30%) sobre el P.C.I. a 40°C/30°C	%	108.4	109.2
Nivel de rendimiento de conformidad con la Directiva Europea 92/42	-	Condensación	
Consumo calorífico mínimo (Q min)	kW	5.1	6.1
Consumo calorífico máximo (Q max)	kW	18.5	25.0
Caudal mínimo de calefacción	l/h	400	400
Temperatura mín. en la ida	°C	10	10
Temperatura máx. en la ida	°C	80	80
Vaso de expansión, capacidad útil	l	8	8
Presión de llenado del vaso de expansión	bar	0.75	0.75
Capacidad máx. de la instalación a 75°C	l	160	160
Válvula de seguridad, presión máxima de servicio (PMS)	bar	3	3
Agua Caliente Sanitaria			
Potencia útil min (P min.)	kW	5.1	6.1
Potencia útil máx (P max.)	kW	25.5	30.6
Consumo calorífico mínimo (Q min)	kW	5.1	6.1
Consumo calorífico máximo (Q max)	kW	25.5	30.6
Temperatura mín en ACS	°C	38	38
Temperatura máx. en ACS	°C	60	60
Caudal específico (D) según la norma EN 13203	l/min	12.2	14.6
En función EN 625	l/min	-	-
Confort sanitaria según la norma EN 13203	-	**	**
Caudal límite de funcionamiento	l/min	1.5	1.5
Limitador de agua fría	l/min	N/A	N/A
Presión de alimentación mín.	bar	0.3	0.3
Presión de alimentación aconsejable	bar	2.0	2.0
Presión de alimentación máx.(**)	bar	10.0	10.0
(**) Para una presión de alimentación superior a 3 bar, se aconseja instalar un reductor de presión.			
Combustión			
Caudal de aire nuevo (1013 mbar - 0°C)	m³/h	23.7	29.8
Caudal de evacuación de gases quemados a Pmin	g/s	2.3	2.75
Caudal de evacuación de gases quemados a Pmáx	g/s	8.3	11.3
Caudal de evacuación de gases quemados en modo de sanitaria	g/s	11.5	13.8
Temperatura gases a Pmin a 80°C/60°C	°C	66.8	59.6
Temperatura gases a Pmin a 50°C/30°C	°C	47.1	39.3
Temperatura gases a Pmáx a 80°C/60°C	°C	65.7	63.4
Temperatura gases a Pmáx a 50°C/30°C	°C	48.8	44.0
Temperatura de los humos en modo ACS (Tª A.C.S. = 50°C)	°C	-	-
Temperatura de los humos en modo de sobrecalentamiento	°C	-	-

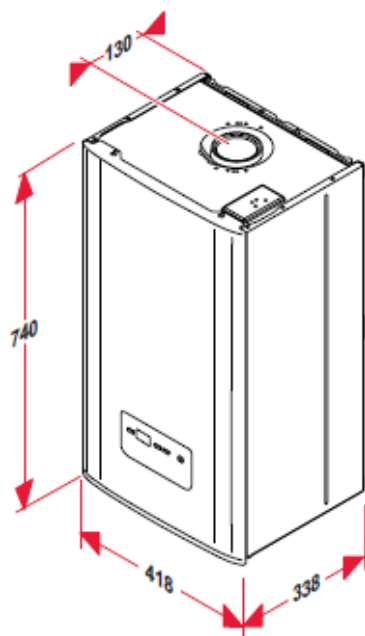
Característica	Unidad	25 kW	30 kW
Valor de los productos de la combustión (medidos con producción térmica nominal y con el gas referencia G 20) :			
CO	ppm	98	103.6
	mg/kWh	105	110.6
CO2	%	9.2	9.2
NOx ponderado	ppm	22.6	21.9
	mg/kWh	39.9	38.6

Característica	Unidad	25 kW	30 kW
Eléctrico			
Tensión de alimentación	V/Hz	230V/50Hz	230V/50Hz
Potencia máx. absorbida	W	151	151
Intensidad	A	0.66	0.66
Fusible integrado	A	2	2
Tipo de protección		IPX4D	IPX4D
Clase		I	I

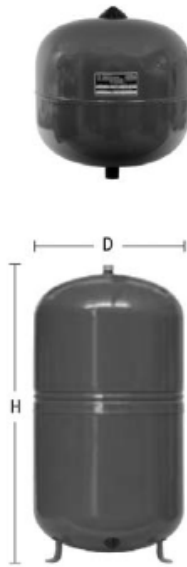
Característica	Unidad	25 kW	30 kW
Dimensiones :			
Altura	mm	740	740
Anchura	mm	418	418
Profundidad	mm	338	338
Peso aprox.	kg	37.1	37.7
Número de CE		1312BU5334	1312BU5335

Característica	Unidad	25 kW	30 kW
Gas natural G 20 (*)			
Caudal máx. potencia sanitaria	m ³ /h	2.70	3.24
Caudal máx. potencia calefacción	m ³ /h	1.96	2.65
Caudal mín. potencia	m ³ /h	0.54	0.65
Presión de alimentación	mbar	20	20
Gas líquido G 31 (*)			
Caudal máx. potencia sanitaria	kg/h	1.98	2.38
Caudal máx. potencia calefacción	kg/h	1.44	1.94
Caudal mín. potencia	kg/h	0.40	0.47
Presión de alimentación	mbar	37	37

(*) réf. 15°C - 1013 mbar gas seco



- Vaso de expansión:



Código	Artículo	D	H	Rosca	Presión Bar
VASOS DE EXPANSIÓN PARA CALEFACCIÓN DE MEMBRANA FIJA					
• Válidos únicamente para circuito cerrado					
• Temperatura agua: -10 a +110° C					
AC 04 000	CMF 5 Litros	* 200	250	3/4"	5
AC 04 002	CMF 8 »	* 200	340	3/4"	5
AC 04 003	CMF 12 »	* 270	310	3/4"	5
AC 04 004	CMF 18 »	* 270	415	3/4"	5
AC 04 019	CMF 25 »	* 320	430	3/4"	5
AC 04 006	CMF 35 »	* 360	475	3/4"	5
AC 04 007	CMF 50 »	** 360	630	3/4"	4
AC 04 015	CMF 80 »	** 485	570	1"	6
AC 04 009	CMF 100 »	** 485	650	1"	6
AC 04 010	CMF 140 »	** 485	935	1"	6
AC 04 011	CMF 200 »	** 600	860	1"	6
AC 04 012	CMF 250 »	** 600	1095	1"	6
AC 04 013	CMF 300 »	*** 600	1240	1"	6
AC 04 014	CMF 400 »	*** 600	1480	1"	6
AC 04 034	CMF 500 »	*** 750	1445	1"	6
AC 04 064	CMF 600 »	*** 750	1700	1"	6
AC 04 065	CMF 800 »	*** 750	2155	1"	6
AC 04 066	CMF 1000 »	*** 750	2555	1"	6

- Especificación de componentes del sistema de radiadores.

- Especificaciones de la caldera convencional:

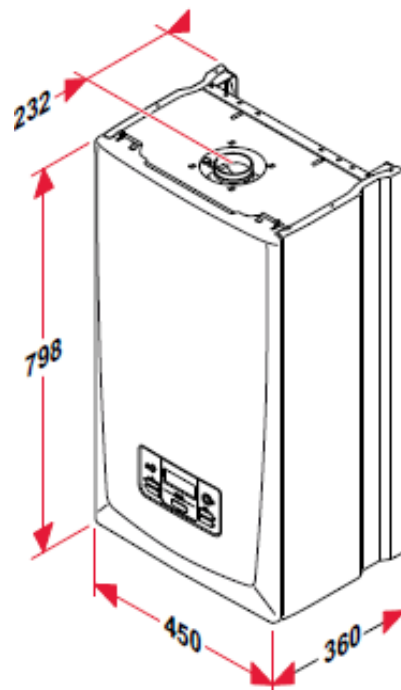
Características	Unidad	30 kW
Categoría		II _{2H1}
Gas		G20 / G31
Calefacción		
Potencia útil min a 80°C/60°C (P min.)	kW	10.4
Potencia útil nominal máx a 80°C/60°C (P max.)	kW	29.6
Rendimiento sobre el P.C.I. a 80°C/60°C	%	93
Rendimiento con carga parcial el P.C.I. a 55°C/45°C	%	89.9
Consumo calorífico mínimo (Q min)	kW	12.2
Consumo calorífico máximo (Q max)	kW	31.9
Caudal mínimo de calefacción	l/h	400
Temperatura mín. en la ida	°C	38
Temperatura máx. en la ida	°C	80
Vaso de expansión, capacidad útil	l	8
Presión de llenado del vaso de expansión	bar	0.75
	MPa	0.075
Capacidad máx. de la instalación a 80°C	l	180
Válvula de seguridad, presión máxima de servicio (PMS)	bar	3.0
	MPa	0.3
Sanitaria		
Potencia útil min (P min.)	kW	10.4
Potencia útil máx (P max.)	kW	29.6
Consumo calorífico mínimo (Q min)	kW	12.2
Consumo calorífico máximo (Q max)	kW	31.9
Temperatura máx. en agua caliente min.	°C	38
Temperatura máx. en agua caliente max.	°C	60
Caudal específico (D) según la norma EN 13203	l/min	14
Caudal específico ($\Delta T=25$ °C)	l/min	-
Confort sanitaria según la norma EN 13203 (calidad)	-	***
Confort sanitaria según la norma EN 13203 (cantidad)	-	-
Caudal límite de funcionamiento	l/min	1.5
Limitador de agua fría	l/min	10
Válvula de seguridad, presión máxima de servicio (PMW)	bar	10
	MPa	1
Presión de alimentación máx. (*)	bar	10
	MPa	1
Presión de alimentación mín.	bar	0.3
	MPa	0.03
Presión de alimentación aconsejable	bar	2
	MPa	0.2
(*) Para una presión de alimentación superior a 3 bar, se aconseja instalar un reductor de presión.		
Combustión		
Caudal de aire nuevo (1013 mbar - 0°C)	m ³ /h	52.7
Caudal de evacuación de gases quemados a Pmin	g/s	18.7
Caudal de evacuación de gases quemados a Pmáx	g/s	17.5
Caudal de evacuación de gases quemados en modo de sanitaria	g/s	17.5
Temperatura gases a Pmin a 80°C/60°C	°C	114
Temperatura gases a Pmáx a 80°C/60°C	°C	135
Temperatura de los humos en modo ACS (Tº A.C.S. = 50°C)	°C	152
Temperatura de los humos en modo de sobrecalentamiento	°C	155

Características	Unidad	30 kW
Valor de los productos de la combustión (medidos con producción térmica nominal y con el gas referencia G 20) :		
CO	ppm	90.4
	mg/kWh	96.5
CO2	%	7.3
NOx ponderado	ppm	84.6
	mg/kWh	149.2
Clase Nox	-	3
Description	Unidad	30 kW
Eléctrico		
Tensión de alimentación	V/Hz	230 V - 50 Hz
Potencia máx. absorbida	W	152
Intensidad	A	0.7
Fusible integrado	A	2
Tipo de protección		IPX4
Classe		I

Característica	Unidad	30 kW
Dimensiones :		
Altura	mm	798
Anchura	mm	450
Profundidad	mm	360
Peso aprox.	kg	36
Número de CE		13128V5391

Característica	Unidad	30 kW
Gas natural G 20 (*)		
Caudal máx. potencia sanitaria	m ³ /h	3.38
Caudal máx. potencia calefacción	m ³ /h	3.38
Caudal mín. potencia	m ³ /h	1.29
Presión de alimentación	mbar	20
P máx. quemador	mbar	13
P mín. quemador	mbar	1.7
Inyector	mm	1.2
Diafragma	mm	6.9
Gas líquido G 31 (*)		
Caudal máx. potencia sanitaria	kg/h	2.48
Caudal máx. potencia calefacción	kg/h	2.48
Caudal mín. potencia	kg/h	0.95
Presión de alimentación	mbar	37
P máx. quemador	mbar	-
P mín. quemador	mbar	-
Inyector	mm	0.73
Diafragma	mm	7.3

(*) réf. 15°C - 1013 mbar gas seco



- Especificaciones de los elementos emisores de los radiadores:

JET

Radiadores de aluminio para instalaciones de agua caliente hasta 6 bar y 110 °C o vapor a baja presión hasta 0,5 bar.

Características principales

- Radiadores formados por elementos acoplables entre sí mediante manguitos de 1" rosca derecha-izquierda y junta de estanquidad.
- Elementos fabricados por inyección a presión de la aleación de aluminio previamente fundida.
- Radiadores montados y probados a la presión de 9 bar.
- Pintura de acabado en doble capa. Imprimación base por electroforesis (inmersión) y posterior capa de polvo epoxi color blanco RAL 9010 (ambas capas secado al horno).
- Accesorios compuestos por: Tapones y reducciones, pintados y cincados con rosca a derecha o izquierda, juntas, soportes, purgador automático PA5- 1" (D ó I) y spray pintura para retoques.

Dimensiones y Características Técnicas

Modelos	Cotas en mm			Capacidad agua l	Peso aprox. kg	Por elemento en Kcal/h		Exponente "n" de la curva característica
	A	B	C			(1)	(2)	
JET 45	420	350	97	0,35	1,17	110,8	83,6	1,298
JET 60	570	500	97	0,44	1,45	147,0	108,9	1,328
JET 70	670	600	97	0,52	1,76	172,0	125,6	1,321
JET 80	770	700	97	0,60	1,99	187,0	142,2	1,342

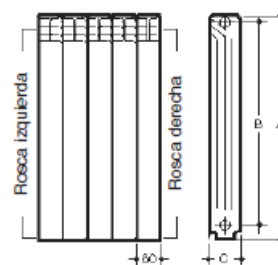
(1) = Emisión calorífica en Kcal/h según UNE 9-015-86 para $\Delta t = 60$ °C (A título informativo)

(2) = Emisión calorífica en Kcal/h según UNE EN-442 para $\Delta t = 50$ °C

$\Delta t = (T_{\text{media radiador}} - T_{\text{ambiente}})$ en °C

Exponente "n" de la curva característica según UNE EN-442

Los orificios de los elementos van roscados a 1" derecha a un lado e izquierda al otro. Al realizar el pedido, prestar especial atención en la acertada elección del sentido de rosca de las reducciones y tapones.

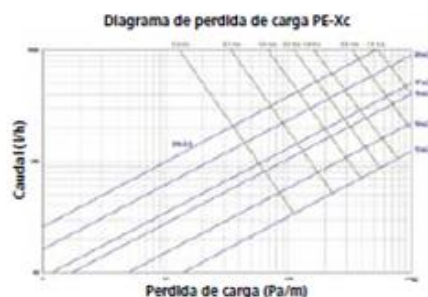


- Especificaciones de la bomba y vaso de expansión: Iguales a los utilizados en suelo radiante.

10.5 Anexo V: Precio de los componentes del sistema de suelo radiante (obtenidos de la marca de fabricantes Roth y Salvador Escoda).

- Tubos:

Dimensión en mm	16x1,8	20x1,9
Diámetro exterior nominal en mm	16	20
Espesor de pared nominal en mm	1,8	1,9
Diámetro interior nominal en mm	12,4	16,2
Peso en gr/m	95	111
Volumen interno l/m	0,121	0,206
Conductividad térmica W/mK	0,41	0,41
Coefficiente de dilatación mm/mK	0,15	0,15
Rugosidad interna mm	0,002	0,002
Temperatura máxima de trabajo °C	95	95
Presión máxima en bar (a 80°C)	8	8
Grado de reticulación en %	65-70	65-70
Radio curvatura	5xD	5xD



Tarifa

Descripción	Suministro	Referencia	PVP €/m
PE-Xc - 16 x 1,8 mm	Rollo 200 m	5100072089	1,08
	Rollo 600 m	5100072060	1,08
PE-Xc - 20 x 2,0 mm	Rollo 200 m	5100072014	1,29
	Rollo 600 m	5100072015	1,29

- Panel aislante:



Placa lisa 30

Especificaciones técnicas

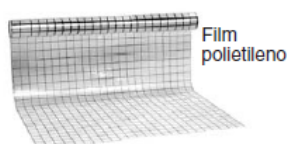


Dimensiones	1000 x 1000 x 30/32 mm
Aislamiento Acústico	26 dB
Densidad nominal	20 Kg/m ³
Resist. térmica	0,90 m²K/W
Resist. mínima a compresión	100 Kpa
Clasificación de reacción al fuego	E (autoextinguible)
Suministro en cajas de cartón	15 placas / caja
Conductividad térmica	$\lambda=0.033$ W/mK
Color	negro

Tarifa

Descripción	Suministro	Referencia	PVP €/m ²
Placa lisa 25	Caja 19 m ²	4061010525	9,75
Placa lisa 30	Caja 15 m ²	4061010530	11,40
Placa lisa 26	Caja 19 m ²	4062010326	13,90

- Film antihumedad:



AC 74 005	• m ² Film instalación suelo radiante Polietileno Antivapor (Rollo 100 m ²)	1,90/m ²
-----------	--	---------------------

- Aditivo para el mortero:



Aditivo fluidificante






Anti-incrustante

• Aditivos

Código	Artículo	€
AC 74 030	Aditivo fluidificante. Bidón 30kg	114,28
AC 71 700	Anti-incrustante. Bote 1 litro	39,53

- Banda perimetral, grapas y junta de dilatación:

	Descripción	Suministro	Referencia	PVP
	Tira perimetral aislante Aislamiento periférico de espuma de poliestireno de 8 mm de espesor y 130 mm de altura, con film de PE pegado para proteger las juntas de la dilatación del mortero. Bordea las placas aislantes y asegura una total independencia entre la losa flotante y las paredes. De este modo, permite la libre dilatación y evita los puentes térmicos y acústicos.			€/m
	Tira BL 25 / 130	Rollo 25 m	4013010085	0,55
	Grapas E* Original y patentada. Con púa de tope y doble arpon para la perfecta fijación del tubo. Nuevo sistema de elevación de la tubería para aumentar la superficie de contacto y mejorar la transmisión de calor. Color negro. Apta para tubería de sección 16, 17 y 20 mm. Cantidad útil: 3 grapas por metro lineal de tubería.			€/ud
	Grapas E*	Caja 1.000 ud	1135006302	0,09
	Perfil para junta de dilatación Conjunto compuesto de espuma de PE en perfil angular plástico. Diseñado para superficies radiantes de más de 40 m ² o aquellas en las que la longitud es, como mínimo, dos veces la anchura, para desolidarizar la losa del mortero y evitar fisuras en el propio suelo. Es aconsejable proteger la tubería de suelo radiante, con tubo corrugado en el tramo que atraviesa el perfil.			€/perfil
	Perfil para Junta de Dilatación 1,80 SET	Caja 10 perfiles (1,80 m por perfil)	4310100003	12,15

- Colector HKV-CL y sus componentes:

Descripción	HKV con detentor		HKV-CL con caudalímetro	
	Referencia	PVP €/ud	Referencia	PVP €/ud
Colector de 3 salidas	1115008133	132,15	1115008144	169,40
Colector de 4 salidas	1115008134	154,00	1115008145	200,10
Colector de 5 salidas	1115008135	175,80	1115008146	231,50
Colector de 6 salidas	1115008136	197,80	1115008147	263,60
Colector de 7 salidas	1115008137	217,60	1115008148	292,50
Colector de 8 salidas	1115008138	241,80	1115008149	327,80
Colector de 9 salidas	1115008139	265,20	1115008150	359,00
Colector de 10 salidas	1115008140	290,20	1115008151	391,10
Colector de 11 salidas	1115008141	310,90	1115008152	423,40
Colector de 12 salidas	1115008142	332,40	1115008153	455,30

- Cabezal electrotérmico (Actuador Universal):



Cronotermostato semanal SR
Ofrece la posibilidad de configurar 6 periodos horarios diferentes para cada uno de los 7 días de la semana.



Termostato ambiente digital
Apto para instalaciones de calefacción (posibilidad de cambio a modo refrigeración).



Actuador universal NC 230V
Conectándole un termostato o cronotermostato, permite controlar la apertura y cierre de circuitos de suelo radiante o válvulas de zona (pág. 25). Incluye sistema de conexión rápida M28 y M30.



Contacto NC final de carrera para actuador universal
A través de este accesorio acoplado al actuador universal, la central RVS es capaz de detener la bomba de calefacción cuando no hay demanda por parte de ningún termostato (necesario uno por termostato).



Módulo de conexiones C6
Facilita la conexión de 6 termostatos a sus correspondientes actuadores 230V. Máximo 16 actuadores por zona. Carga máxima admisible 2,2 A

Tarjeta conexión B1
Combinado con el módulo de conexiones C6, detiene el circulador de suelo radiante si no hay demanda de calefacción.

Tarifa

Descripción	Referencia	PVP €/ud
Mezclador 3 Vías de asiento con servomotor DN 20 (¾") Kvs 6,3	4410000010	322,40
Mezclador 3 Vías de asiento con servomotor DN 25 (1") Kvs 10	4410000008	347,90
Mezclador 3 Vías de asiento con servomotor DN 32 (1 ¼") Kvs 16	4410000011	389,40
Mezclador 3 Vías de asiento con servomotor DN 40 (1 ½") Kvs 25	4410000012	515,80
Mezclador 3 Vías de asiento con servomotor DN 50 (2") Kvs 40	4410000013	580,00
Separador hidráulico con aislamiento 1"	4410000026	197,80
Termostato Ambiente Digital para Suelo Radiante	4410000009	52,70
Cronotermostato semanal SR	4410000015	129,30
Actuador Universal NC 230V	4310100026	36,60
Contacto aux. NC fin carrera para actuador universal	4310100023	25,90
Termostato de Seguridad para Inmersión con rearme	4310000002	28,30

- Grupo de purgado y vaciado y racores :

Código	Artículo	€
AC 71 329	Terminal completa conjunto intermedio 1"	30,49
AC 71 333	Terminal compacta colector 1"	13,44
AC 71 518	Válvula bola macho/hembra c/racor mando mariposa 1"	16,98
AC 74 040	Purgador automático c/ vaciado y purga manual 1"	36,50
IM 30 304	Manómetro vertical 1/4" 0-6 bar	3,60
ADAPTADORES PARA TUBO		
AC 71 439	Para plástico PEX c/barrera 16x1,5	2,23
AC 71 469	Para plástico PEX c/barrera y multicapa 16x2,0	2,23
AC 71 470	Para multicapa 18x2,0	2,67
AC 71 445	Para plástico PEX c/barrera 20x1,9	2,22
AC 71 471	Para plástico PEX c/barrera 20x2,0	2,51

- Caja empotrable para los colectores:



Caja empotrable

Código	Artículo	€
CAJA METÁLICA EMPOTRAR		
AC 71 401	400X450X110 (2,3 circuitos)	91,00
AC 71 402	600X450X110 (4,5,6,7 circuitos)	102,87
AC 71 403	800X450X110 (8,9,10 circuitos)	130,50
AC 71 404	1000X450X110 (11,12 circuitos)	146,13
AC 71 417	Para Colectores reg. punto fijo 850x605x150 (3,4,5,6,7 circuitos)	342,56

- Grupo hidráulico y motor para la válvula:



• **Distribución primario**

Código	Artículo	€
GRUPO HIDRÁULICO		
AC 71 527	Con mezcladora 4 vías 180mm sin motor y sin bomba	405,44
AC 71 528	Con mezcladora 3 vías 180mm sin motor y sin bomba	400,69
AC 71 532	Soporte para grupo hidráulico	16,38
AC 71 552	Motor para mezcladoras de 3 y 4 vías en grupo hidráulico	121,17

• **Cajas colectores**

- Válvula de 3 vías con bypass para el grupo:



Grupo impulsión y mezcla compacto tipo II para colectores HKV/HKV-CL
Diseñado para su instalación en la misma caja del colector. Incluye racores de unión, 2 válvulas de corte, circulador Wilo 15/6 y termostato de seguridad. Permite fijar la temperatura de impulsión desde 20°C hasta 50°C.



Válvula mezcladora de 3 vías termostática V-135
Combinada con el accionador termostático T100-R permite fijar la temperatura de impulsión de 10°C a 50°C (accionador T100-R AA) o de 30°C a 70°C (accionador T100-R AB). Fabricada en bronce.



Válvula de 3 vías con bypass
Especial para suelo radiante con caldera que incorpore bomba para calefacción. Combinada con el accionador 7420 permite fijar la temperatura de impulsión desde 20°C hasta 50°C. Niquelada, con asiento plano y bypass mínimo del 20% del caudal.

Tarifa		
Descripción	Referencia	PVP €/ud
Grupo de impulsión y mezcla compacto tipo II	1135006112	506,35
Válvula mezcladora de 3 vías termostática V 135 - 1"	5213252017	131,90
Válvula mezcladora de 3 vías termostática V 135 - 1 1/4"	5213252000	146,50
Accionador termostático T100-R AA Rango 10-50 °C	5213252011	136,80
Accionador termostático T100-R AB Rango 30-70 °C	5213252012	136,80
Válvula Termostática 3 vías con bypass 3/4" Kvs 2,75	1776101000	36,10
Válvula Termostática 3 vías con bypass 1" Kvs 3,2	1776102000	36,10
Accionador Termostático con sonda 7420	1742006000	46,40

- Bomba de circulación:

Wilo Star-RS, 1~230 V, 50 Hz (simple con 130 mm de longitud)																		
Referencia	Modelo	Longitud (mm)	PN	Rp/DN	Precio €	Caudal (m³/h)												
						0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5		
4063802	Star-RS 15/4	130	10	1/2"	210,00	4	3.5	3	2.5	1.9	1.3	0.7						
4067514	Star-RS 15/5	130	10	1/2"	233,00	4.6	4.3	4	3.5	3	2.3	1.6	1					
4063803	Star-RS 15/6	130	10	1/2"	253,00	5.8	5.3	4.9	4.4	3.8	3.1	2.4	1.6					
4033776	Star-RS 25/4	130	10	1"	210,00	4	3.5	3	2.5	1.9	1.3	0.7						
4065363	Star-RS 25/5	130	10	1"	233,00	4.6	4.3	4	3.5	3	2.3	1.6	1					
4033782	Star-RS 25/6	130	10	1"	253,00	5.8	5.3	4.9	4.4	3.8	3.1	2.4	1.6					
4130987	Star-RS 25/7	130	10	1"	369,00	6.3	6	5.7	5.2	4.8	4.3	3.7	3					

- Unidad de control:

• Caja de conexiones



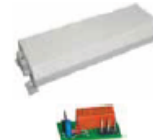
Separador hidráulico
Para la separación hidráulica de los circuladores en instalaciones de suelo radiante con calderas que incorporen bomba para calefacción. No es necesario si se utiliza la válvula de 3 vías con bypass. Incluye 4 conexiones hembra 1", purgador, válvula de vaciado y cubierta termoaislante.



Actuador universal NC 230V
Conectándole un termostato o cronotermostato, permite controlar la apertura y cierre de circuitos de suelo radiante o válvulas de zona (pág. 25). Incluye sistema de conexión rápida M28 y M30.



Contacto NA final de carrera para actuador universal
A través de este accesorio acoplado al actuador universal, es posible detener la bomba de calefacción cuando no hay demanda por parte de ningún termostato (necesario uno por termostato). Carga máxima admisible 2A.



Módulo de conexiones C6
Facilita la conexión de 6 termostatos a sus correspondientes actuadores 230V. Máximo 16 actuadores por zona. Carga máxima admisible 2,2 A.

Tarjeta conexión B1
Combinado con el módulo de conexiones C6, detiene el circulador de suelo radiante si no hay demanda de calefacción.



Válvula de presión diferencial 1" y racor 3/4"
Evita problemas de ruidos y golpes de ariete en la instalación.



Termostato de seguridad
Con rearme manual. Temperatura de paro: 60°C.



Termostato ambiente digital
Apto para instalaciones de calefacción (posibilidad de cambio a modo refrigeración).



Cronotermostato semanal SR
Ofrece la posibilidad de configurar 6 periodos horarios diferentes para cada uno de los 7 días de la semana.

Tarifa

Descripción	Referencia	PVP €/ud
Separador hidráulico con aislamiento	4410000026	197,80
Válvula de presión diferencial escuadra 1"	1400442000	35,60
Racor 3/4" para válvula de presión diferencial	1622012000	7,40
Termostato Ambiente Digital para Suelo Radiante	4410000009	52,70
Cronotermostato semanal SR	4410000015	129,30
Actuador Universal NC 230V	4310100026	36,60
Contacto aux. NA fin carrera para actuador universal	4310100022	25,90
Módulo de conexión C6	4410000025	101,30
Tarjeta de conexión B1 (Para insertar en C6)	4410000027	29,90
Termostato de Seguridad para inmersión con rearme	4310000002	28,30

• Termostatos



MC2

Código	Artículo	€
	TERMOSTATO AMBIENTE	
	<ul style="list-style-type: none"> • Termostato calor • Poder de ruptura 10(2,5)A 250V • Protección IP-20 • Diferencial 1K • Escala: 5-30°C 	
CO 14 556	Termostato ambiente calor MC2 (Mundocontrol)	7,82

- Caldera de condensación:



Calificación Sin calificación

Referencia: 0010014011

Caldera mural de condensación

Hermann Micraplus Condens 30

(Gas Natural)

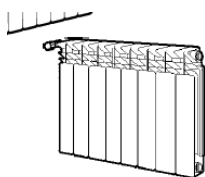
1271,00 €

- Vaso de expansión:

Código	Artículo	D	H	Rosca	Presión Bar	€
VASOS DE EXPANSIÓN PARA CALEFACCIÓN DE MEMBRANA FIJA						
• Válidos únicamente para circuito cerrado • Temperatura agua: -10 a +110° C						
AC 04 000	CMF 5 Litros	* 200	250	3/4"	5	30,40
AC 04 002	CMF 8 »	* 200	340	3/4"	5	29,85
AC 04 003	CMF 12 »	* 270	310	3/4"	5	31,20
AC 04 004	CMF 18 »	* 270	415	3/4"	5	35,00
AC 04 019	CMF 25 »	* 320	430	3/4"	5	43,05
AC 04 006	CMF 35 »	* 360	475	3/4"	5	62,25
AC 04 007	CMF 50 »	** 360	630	3/4"	4	103,20
AC 04 015	CMF 80 »	** 485	570	1"	6	150,55
AC 04 009	CMF 100 »	** 485	650	1"	6	214,70
AC 04 010	CMF 140 »	** 485	935	1"	6	265,70
AC 04 011	CMF 200 »	** 600	860	1"	6	339,70
AC 04 012	CMF 250 »	** 600	1095	1"	6	386,40
AC 04 013	CMF 300 »	*** 600	1240	1"	6	492,65
AC 04 014	CMF 400 »	*** 600	1480	1"	6	581,20
AC 04 034	CMF 500 »	*** 750	1445	1"	6	947,00
AC 04 064	CMF 600 »	*** 750	1700	1"	6	1.139,15
AC 04 065	CMF 800 »	*** 750	2155	1"	6	1.492,10
AC 04 066	CMF 1000 »	*** 750	2555	1"	6	1.758,00

10.6 Anexo VI: Precio de los componentes del sistema de radiadores.

- Elementos emisores:



Precios por elemento. Suministro en baterías de 3 a 12 elementos. Accesorios no incluidos (ver pag. accesorios).

9.1.3. JET

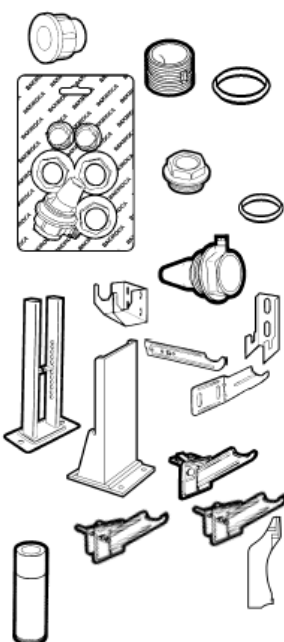
19411xx01	Radiador de aluminio JET 45	118,6	83,6	12,20
19412xx01	Radiador de aluminio JET 60	147,0	108,9	12,35
19413xx01	Radiador de aluminio JET 70	172,0	125,6	14,65
19413xx01	Radiador de aluminio JET 80	187,0	142,2	16,60

Precios por elemento. Suministro en baterías de 3 a 12 elementos. Accesorios no incluidos (ver pag. accesorios).

- Accesorios:



Referencia	Modelo	Euros
Pintado		
194001043	Conjunto 20 tapones 1" D B	12,15
194001044	Conjunto 20 tapones 1" I B	12,15
194001045	Conjunto 20 reducciones 1" x 1/8" D B	14,10
194001046	Conjunto 20 reducciones 1" x 3/8" D B	14,10
194001047	Conjunto 20 reducciones 1" x 1/2" D B	14,10
194001048	Conjunto 20 reducciones 1" x 3/4" D B	16,40
194001049	Conjunto 20 reducciones 1" x 1/8" I B	14,10
194001050	Conjunto 20 reducciones 1" x 3/8" I B	14,10
194001051	Conjunto 20 reducciones 1" x 1/2" I B	14,10
194001052	Conjunto 20 reducciones 1" x 3/4" I B	16,40
Cincado		
194001033	Conjunto 50 tapones 1" D Z	22,20
194001034	Conjunto 50 tapones 1" I Z	22,20
194001035	Conjunto 50 reducciones 1" x 1/8" D Z	25,50
194001036	Conjunto 50 reducciones 1" x 3/8" D Z	25,50
194001037	Conjunto 50 reducciones 1" x 1/2" D Z	25,50
194001038	Conjunto 50 reducciones 1" x 3/4" D Z	31,40
194001039	Conjunto 50 reducciones 1" x 1/8" I Z	25,50
194001040	Conjunto 50 reducciones 1" x 3/8" I Z	25,50
194001041	Conjunto 50 reducciones 1" x 1/2" I Z	25,50
194001042	Conjunto 50 reducciones 1" x 3/4" I Z	31,40
194002003	Conjunto 50 Manguito M-1" A	31,80
194003005	Conjunto 50 juntas de 1" - 42 x 32 x 1	4,10



Referencia	Modelo	Euros
194001021	Tapón para manguito de 1" AV	0,60
194002004	Conjunto 50 Manguito 1" AV	31,80
194003004	Junta tórica 1" Ø38 x Ø30,8 x Ø3,6 AV	0,60
194011008	Accesorios radiador ARA 1/2" D (Conjunto para conexión mono-bitubo, con purgador)	9,20
194011007	Accesorios radiador ARA 1/2" I (Conjunto para conexión mono-bitubo, con purgador)	9,20
194001022	Tapón de 1/2" D pintado	0,60
194003003	Conjunto de 10 juntas tóricas Ø23,2 x Ø18 x Ø2,8	0,80
195210001	Purgador automático PA5-1"D. Rosca derecha (embalados en cajas de 10 u.)	5,70
195210002	Purgador automático PA5-1"l. Rosca izquierda (embalados en cajas de 10 u.)	5,70
194006016	Soporte alicatar AV 1800 S	5,90
194006017	Soporte alicatar AV 1800 I	4,50
194006001	Soporte de empotrar 73 A	0,60
194006002	Soporte de alicatar 073 A	0,80
194006004	Soporte de pie 80/S para radiador DUBAL y MEC (embalados en cajas de 25 u.)	5,30
194006005	Soporte de pie 100/J para radiador JET y ALIS (embalados en cajas de 25 u.)	5,50
194006033	Soporte de pie 150/D para radiador DUBAL 30	2,25
194006006	Soporte empotrar 81A (embalados en cajas de 12 u.)	1,00
194006007	Soporte alicatar 081A (incluye tacos y tirafondos) (embalados en cajas de 12 u.)	1,20
194006026	Soporte de alicatar 0113 A para radiador DUBAL 30	1,00
194006036	Soporte alicatar de plástico SPR para MEC, JET y ALIS (incluye tacos y tirafondos) (embalados en cajas de 12 u.)	1,20
194004001	Spray pintura Blanco RAL 9010 para radiadores de aluminio (embalados en cajas de 7 u.)	8,15

- Bomba de circulación:

Wilo Star-RS, 1" 230 V, 50 Hz (simple con 130 mm de longitud)																				
Referencia	Modelo	Longitud (mm)	PN	Rp/DN	Precio €	Caudal (m³/h)														
						0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5				
4063802	Star-RS 15/4	130	10	1/2"	210,00	4	3.5	3	2.5	1.9	1.3	0.7								
4067514	Star-RS 15/5	130	10	1/2"	233,00	4.6	4.3	4	3.5	3	2.3	1.6	1							
4063803	Star-RS 15/6	130	10	1/2"	253,00	5.8	5.3	4.9	4.4	3.8	3.1	2.4	1.6							
4033776	Star-RS 25/4	130	10	1"	210,00	4	3.5	3	2.5	1.9	1.3	0.7								
4065363	Star-RS 25/5	130	10	1"	233,00	4.6	4.3	4	3.5	3	2.3	1.6	1							
4033782	Star-RS 25/6	130	10	1"	253,00	5.8	5.3	4.9	4.4	3.8	3.1	2.4	1.6							
4130987	Star-RS 25/7	130	10	1"	369,00	6.3	6	5.7	5.2	4.8	4.3	3.7	3							

- Caldera convencional:



Calificación Sin calificación

Referencia: 0010014013

Caldera mural estanca Hermann

Micraplus 30 (Gas Natural)

825,00 €