

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID**

Escuela Politécnica Superior

Departamento de Ingeniería Térmica y Fluidos



TRABAJO DE FIN DE GRADO

**DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE SUELO  
RADIANTE/REFRESCANTE CON APOYO DE ENERGÍA  
GEOTÉRMICA PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR**

**AUTOR:** PABLO PÉREZ SÁNCHEZ

**TUTOR:** JAVIER VILLA BRIONGOS

**SEPTIEMBRE 2016**



## ÍNDICE GENERAL

1	MEMORIA .....	2
	ANEXO I. ALTERNATIVAS DE DISEÑO.....	61
	ANEXO II. FICHAS JUSTIFICATIVAS .....	71
	ANEXO III. CÁLCULOS.....	77
2	PRESUPUESTO .....	154
3	CONCLUSIONES .....	161
4	PLANOS .....	163
5	BIBLIOGRAFÍA .....	170



## 1. MEMORIA

1	RESUMEN .....	8
2	OBJETIVO Y METODOLOGÍA.....	8
3	INTRODUCCIÓN.....	9
3.1	Conceptos previos.....	9
3.2	Suelo radiante .....	12
3.2.1	Estado del Arte.....	12
3.2.2	Suelo radiante frente a otros sistemas .....	13
3.2.3	Instalación de suelo radiante .....	14
3.2.4	Elementos que conforman la instalación de suelo radiante .....	15
3.2.5	Sistema de control remoto.....	18
4	ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO PARA VIVIENDAS UNIFAMILIARES DOTADAS DE SUELO RADIANTE .....	19
4.1	Instalación geotérmica.....	21
4.1.1	Estado del arte .....	22
4.1.2	La geotermia en España .....	23
4.1.3	Funcionamiento sistema geotérmico de baja entalpía.....	24
4.1.4	Configuración a emplear y elección de los tubos.....	26
4.1.5	Bomba de calor geotérmica. ....	28
4.1.6	Ciclos de calefacción y refrigeración .....	29
4.1.7	Operación bomba de calor.....	30
5	CASO DE ESTUDIO .....	31
5.1	Emplazamiento geográfico.....	31
5.1.1	Situación geográfica .....	31
5.2	Descripción de la vivienda.....	34
5.2.1	Condiciones de diseño .....	35
5.2.2	Condiciones exteriores de cálculo.....	36
6	CARGAS TÉRMICAS DEL EDIFICIO .....	37
6.1	Características de uso.....	37
6.1.1	Ocupación.....	37
6.1.2	Iluminación.....	37
6.1.3	Definición de la envolvente térmica del edificio y clasificación de sus componentes.....	38
6.1.4	Características de los cerramientos .....	38
6.2	Caudales de aire exterior .....	39
6.3	Obtención de las cargas térmicas .....	39



7	JUSTIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA EXIGENCIA DE CALIDAD DEL AIRE INTERIOR..	42
7.1	Caracterización y cuantificación de las exigencias.....	42
7.2	Diseño en viviendas.....	43
7.2.1	Dimensionado de las aberturas de ventilación.....	44
8	INSTALACIÓN DE ACS .....	45
8.1	Caudal de ACS.....	45
8.2	Dimensionado de las redes de distribución .....	46
8.3	Pérdidas de carga .....	46
8.4	Selección de la bomba de circulación. ....	46
8.5	Volumen del depósito de acumulación.....	46
8.6	Vaso de expansión.....	47
8.7	Potencia ACS .....	47
9	INSTALACIÓN GEOTÉRMICA.....	47
9.1	Objetivo .....	47
9.2	Diseño del intercambiador geotérmico .....	48
9.2.1	Elección de la bomba de calor.....	48
9.2.2	Comprobación velocidad mínima.....	49
9.2.3	Temperaturas que intervienen en el proceso.....	50
9.2.4	Resistencia de los tubos al flujo de calor .....	51
9.2.5	Resistencia del terreno.....	51
9.2.6	Longitud del intercambiador.....	54
10	INSTALACIÓN DE SUELO RADIANTE .....	54
10.1	Objetivo .....	54
10.2	Diseño de la instalación.....	55
10.2.1	Longitud de los circuitos.....	55
10.2.2	Temperatura del suelo .....	57
10.2.3	Temperatura de impulsión.....	57
10.2.4	Caudal de agua por circuito.....	58
10.2.5	Velocidad del agua .....	58
10.2.6	Montantes .....	59
10.2.7	Pérdidas de carga .....	59
10.2.8	Selección de la bomba de circulación .....	59
10.2.9	Compensación de los distribuidores .....	59
10.2.10	Vaso de expansión.....	60
10.2.11	Depósito de Inercia .....	60



## Índice de tablas

Tabla 1. Consumos de energía final por sectores (ktep) —excluidos usos no energéticos [ <a href="http://www.idae.es">www.idae.es</a> -Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020] .....	11
Tabla 2. Estudio económico según tipo de sistema de calefacción [ <a href="http://www.congresoclimaplus.es/pdf/ponencias-2011/etsii-uned-estudio-comparativo-suelo-radiante-con-radiadores-aluminio-media-y-baja-temperatura-congreso-climaplus-2011.pdf">http://www.congresoclimaplus.es/pdf/ponencias-2011/etsii-uned-estudio-comparativo-suelo-radiante-con-radiadores-aluminio-media-y-baja-temperatura-congreso-climaplus-2011.pdf</a> ] .....	14
Tabla 3. Alternativas para optimizar el sistema de suelo radiante [Hoja de cálculo propia].....	20
Tabla 4. Propiedades del fluido caloportador (agua + propilenglicol al 30%) [Proyecto “Climatización de un edificio de oficinas mediante energía geotérmica”].....	26
Tabla 5. Características de los distintos tubos [ <a href="http://www.minetur.gob.es">www.minetur.gob.es</a> . Enero 2016] .....	28
Tabla 6. Dimensiones de los distintos espacios [Hoja de cálculo propia] .....	35
Tabla 7. Condiciones interiores de diseño [tabla 1.4.1.1 RITE] .....	36
Tabla 8. Distribución del consumo lumínico [Hoja de cálculo propia] .....	37
Tabla 9. Coeficiente de transmisión de los distintos cerramientos [Hoja de cálculo propia].....	38
Tabla 10. Caudales de aire exterior en $\text{dm}^3/\text{s}$ por persona [Hoja de cálculo propia] .....	39
Tabla 11. Fórmulas empleadas para los cálculos de las cargas térmicas de refrigeración [Hoja de cálculo propia].....	40
Tabla 12. Carga térmica total de refrigeración de cada habitáculo [Hoja de cálculo propia].....	41
Tabla 13. Fórmulas empleadas para los cálculos de las cargas térmicas de calefacción [Hoja de cálculo propia].....	41
Tabla 14. Carga térmica total de calefacción de cada habitáculo [Hoja de cálculo propia] .....	42
Tabla 15. Caudal de ventilación mínimo para los locales [DB HS3] .....	43
Tabla 16. Área efectiva total de las aberturas de ventilación de cada local [Documento Básico HS Salubridad] .....	44
Tabla 17. Caudales de admisión o extracción y paso para cada local [Hoja de cálculo propia] .	45
Tabla 18. Tabla de propiedades de la bomba geotérmica elegida [ <a href="http://www.buderus.es">www.buderus.es</a> . Enero 2016] .....	49
Tabla 19. Propiedades del terreno a perforar [Guía Técnica “Diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado”. MINETUR-IDAЕ] .....	52



Tabla 20. Temperaturas para máximas y mínimas cargas térmicas según el modo de funcionamiento del sistema [Hoja de cálculo propia] .....	53
Tabla 21. Circuitos necesarios por cada local [Hoja de cálculo propia] .....	55
Tabla 22. Superficie y longitud de cada circuito [Hoja de cálculo propia] .....	56
Tabla 23. Temperaturas de impulsión y retorno obtenidas [Hoja de cálculo propia] .....	58
Tabla 24. Caudales por circuito [Hoja de cálculo propia].....	58

## Índice de figuras

Figura 1. Hipocausto [www.wikipedia.org].....	12
Figura 2. Partes de un Ondol [imagen adaptada de www.wikipedia.org. Noviembre 2015] .....	13
Figura 3. Distribución de la temperatura en función de la altura según el tipo de sistema de calefacción [http://www.sueloradiante.com/. Octubre 2015].....	14
Figura 4. Configuración doble serpentín (izquierda) y configuración en espiral (espiral) [www.uponor.es. Noviembre 2015] .....	16
Figura 5. Panel portatubos [www.uponor.es. Noviembre 2015].....	16
Figura 6. Zócalo Perimetral [www.uponor.es. Noviembre 2015] .....	17
Figura 7. Colectores con caudalímetro [www.uponor.es. Noviembre 2015] .....	17
Figura 8. Partes de una instalación de suelo radiante [www.uponor.es. Noviembre 2015] .....	18
Figura 9. Sistema hidrotérmico [https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2011/11/energia-geotermica.pdf].....	21
Figura 10. Evolución de potencia mundial instalada de energía geotérmica para producción de electricidad [www.igme.es. Marzo 2016] .....	23
Figura 11. Distribución de los focos de recursos geotérmicos en España [www.igme.es. Marzo 2016] .....	24
Figura 12. Distribución de la temperatura en función de la profundidad del terreno [www.solarpraxis.de. Octubre 2015] .....	25
Figura 13. Esquema de funcionamiento de la bomba geotérmica para calefacción (imagen superior) y refrigeración (imagen inferior) [www.repsol.com. Diciembre 2015].....	30
Figura 14. Diagrama Ph bomba de calor geotérmica [Proyecto Fin de Carrera “Climatización geotérmica de un edificio. Diciembre 2015].....	30
Figura 15. Diagrama TS bomba de calor geotérmica [Proyecto Fin de Carrera “Climatización geotérmica de un edificio. Diciembre 2015].....	31
Figura 16. Emplazamiento dónde se situará la vivienda [Google Maps. Octubre 2015] .....	32
Figura 17. Parcela edificable dónde se situará la vivienda [https://www1.sedecatastro.gob.es/OVCframes.aspx?TIPO=consulta. Octubre 2015]Estratigrafía.....	32



Figura 18. Estratigrafía del terreno [ <a href="http://info.igme.es/cartografia/magna50.asp?hoja=559&amp;bis">http://info.igme.es/cartografia/magna50.asp?hoja=559&amp;bis</a> . Noviembre 2015] .....	33
Figura 19. Leyenda de la estratigrafía del terreno [ <a href="http://info.igme.es/cartografia/magna50.asp?hoja=559&amp;bis">http://info.igme.es/cartografia/magna50.asp?hoja=559&amp;bis</a> . Noviembre 2015] .....	34
Figura 20. Transferencia de calor en función de la velocidad del fluido [ <a href="http://www.upv.es">www.upv.es</a> ] .....	49
Figura 21. Variación de la temperatura en función de la carga térmica [Hoja de cálculo propia] .....	53
Figura 22. Caja de colectores [ <a href="http://www.uponor.es">www.uponor.es</a> . Marzo 2016] .....	56
Figura 23. Depósito de inercia [ <a href="http://www.grupobiosan.com">www.grupobiosan.com</a> . Agosto 2016] .....	60



## 1 RESUMEN

El proyecto consiste en el diseño de una instalación de suelo radiantes/refrescante para abastecer una vivienda unifamiliar. Para ello se ha buscado un sistema de apoyo a la instalación de climatización para conseguir un conjunto con un mayor grado de eficiencia energética, siendo resultado final el del uso de energía geotérmica. Además de cubrir las necesidades de climatización, nuestro sistema cubrirá la demanda de ACS sin necesidad de ningún sistema auxiliar.

## 2 OBJETIVO Y METODOLOGÍA

El objetivo de este proyecto es desarrollar un sistema de climatización lo más eficiente y confortable posible para una vivienda unifamiliar ubicada en Madrid que sea capaz de cubrir todas las necesidades térmicas, tanto de calefacción como de refrigeración, así como la potencia debida al agua caliente sanitaria.

El sistema de climatización más confortable que existe actualmente en el mercado es el suelo radiante/refrescante, por lo que equiparemos de circuitos todas las habitaciones que conformen la vivienda de forma individual. Para conseguir el otro objetivo marcado, la eficiencia, buscaremos un sistema auxiliar de apoyo a nuestra instalación principal, el cuál elegiremos en función de sus características y funcionalidad.

La metodología que seguiremos hasta llegar a nuestra solución final será la siguiente:

1. Descripción del sistema de suelo radiante. Funcionamiento y componentes principales de la instalación. Definiendo en la medida en la que nos sea posible aquellos parámetros importantes que influyan posteriormente en los cálculos.
2. Descripción de posibles sistemas auxiliares de apoyo a nuestra instalación principal. Concluiremos con la elección y justificación teórica del sistema escogido.
3. Descripción del sistema de apoyo seleccionado. Funcionamiento y componentes principales. Definiendo en la medida en la que nos sea posible aquellos parámetros importantes que influyan posteriormente en los cálculos.
4. Una vez llegado a este punto en el que tenemos definida nuestra instalación, nos centraremos en nuestro caso de estudio, comenzando con los cálculos de las cargas térmicas.
5. Seguiremos con los cálculos completos de nuestro sistema auxiliar, de tal forma que queden perfectamente definidos todos y cada uno de los elementos que lo conformen.
6. Cálculo de todos los elementos que conformarán el sistema de suelo radiante, de tal forma que nuestro sistema quede completamente definido.
7. Concluiremos los procesos de cálculo con el presupuesto de la obra completa



8. Para concluir el trabajo, realizaremos un análisis de los resultados comentando los aspectos tanto positivos como negativos más relevantes.

### 3 INTRODUCCIÓN

Como se ha comentado en el apartado anterior, el proyecto que se va a realizar consiste en la climatización de una vivienda unifamiliar por medio de una instalación de suelo radiante. Éste contará con un sistema de apoyo auxiliar para garantizar que queden cubiertas todas las necesidades energéticas en cualquier momento del año.

El proyecto se realizará tomando, en la mayoría de los casos, todas las decisiones en favor de la eficiencia energética, por encima del factor económico.

La eficiencia energética y por tanto, el ahorro energético han ido cobrando mucha importancia con el paso del tiempo. Además de influir directamente en la economía, el motivo de buscar dicha eficiencia no es meramente económico sino también energético y medioambiental.

Hoy en día no cabe pensar en la creación de nuevas edificaciones y/o instalaciones sin tener muy en cuenta su grado de eficiencia energética. Y esto no sólo ocurre a nivel industrial, sino también a escala más pequeña como es en el propio hogar. Un claro ejemplo de dicho alcance queda reflejado cuando un particular se dispone a adquirir un electrodoméstico, una televisión o cualquier dispositivo que conlleve asociado un cierto consumo. Todo esto sin llegar a tener muy claros estos conceptos.

Como hemos comentado anteriormente, el hecho de buscar el ahorro energético en todo lo que nos rodea no va sólo ligado al ahorro de dinero. Los altos niveles de contaminación que se están alcanzando y el consecuente calentamiento global que esto provoca, están tomando un papel muy influyente en este aspecto.

Por otro lado, las energías no renovables tienen un gran inconveniente, y es que como su propio nombre indica, se agotan. Por lo que es necesaria la investigación y el desarrollo de las fuentes de energía renovables.

Antes de comenzar definiremos algunos conceptos fundamentales, así como la situación en la que nos encontramos frente a estos problemas.

#### 3.1 Conceptos previos

##### - **¿Qué es la eficiencia energética?**

La Eficiencia Energética o el ahorro energético se podría decir que es el descenso del consumo de energía, cumpliendo con las mismas exigencias, y sin que se vea afectada la calidad de vida, protegiendo el medio ambiente y fomentando la sostenibilidad.



- **¿Qué es el cambio climático?**

El cambio climático es la modificación que sufre el clima debido a las actuaciones realizadas por el ser humano de forma directa o indirecta. [2]

- **¿Qué es el calentamiento global?**

El Calentamiento Global consiste en el aumento de la temperatura media de la superficie terrestre, como consecuencia del cambio climático, es decir, de la actividad humana. []

- **¿Cuál es la situación de la Unión Europea al respecto?**

Ante la importancia que ha ido cobrando el cambio climático conforme han ido pasando los años, la Unión Europea no ha tenido más remedio que intervenir para, no ya remediar, sino frenar la tendencia que se estaba adoptando. Para ello se ha puesto en marcha un “Plan de Acción para la eficiencia energética” cuyo objetivo no es otro que reducir la demanda de energía, así como controlarla. En términos de cifras, el objetivo es conseguir un ahorro del 20% en el consumo anual de energía primaria desde la fecha de su inicio, 2007, hasta el 2020.

Para llevar a cabo este plan, es necesario desarrollar nuevas técnicas a la vez que mejorar las existentes que tengas que ver con servicios energéticos. Por otro lado, y muy importante también, concienciar sobre este ahorro para que el consumo sea lo menor posible manteniendo como hemos visto, la misma calidad de vida.

En este ámbito, la Comisión encargada del Plan, revela que el mayor consumo energético, y por consiguiente, dónde más atención se debe prestar es en los siguientes sectores:

- a) Edificios de viviendas y comerciales: cada país miembro debe asegurar unos requisitos mínimos de eficiencia energética que afecten directamente a la instalación de calderas, aire acondicionado, ventilación y agua caliente.
- b) La industria manufacturera: se adoptarán medidas que mejoren el rendimiento energético de equipos como televisiones, alumbrado...
- c) El sector de los transportes: imposición de reducir los niveles de contaminación producido por automóviles, además de potenciar la compra de vehículos limpios y uso de transporte público. [4]

- **¿Cuál es la situación de España al respecto?**

España, como país miembro de la UE, también debe cumplir las exigencias de la Comunidad, por lo que ha elaborado el llamado “El Plan de Acción 2011-2020”, que refleja un conjunto de medidas a tomar en función de lo propuesto y/o exigido por parte de la Unión Europea.

Presenta un conjunto de medidas y actuaciones coherente con los escenarios de consumo de energía final y primaria incorporados en otros instrumentos de planificación en materia de energías renovables y de planificación de los sectores de electricidad y gas. De esta forma, la planificación en materia energética constituye un conjunto coherente, conducente al objetivo

de mejora de la intensidad final del 2% interanual en el período 2010-2020.

En términos de energía final, el escenario-objetivo de este Plan es el que se resume en la tabla 1, con un objetivo de consumo en el año 2020 de 102.220 ktep, de los que, descontados los consumos de energía final con fines no energéticos, se obtiene un total de consumo de 95.355 ktep. Este escenario garantiza el cumplimiento del objetivo de mejora de la intensidad final del 2% interanual establecido en las planificaciones aprobadas.

Sectores	2004	2007	2008	2009	2010	2016	2020	2010-2020 (Tasa variación interanual) (%)
Industria	29.855	29.878	30.241	26.468	28.209	26.034	25.777	-0,90
Transporte	37.736	40.804	39.313	37.464	36.744	38.670	38.752	0,53
Residencial, servicios y otros	29.030	30.448	28.886	26.975	28.470	30.016	30.827	0,80
<b>Total</b>	<b>96.621</b>	<b>101.130</b>	<b>98.440</b>	<b>90.906</b>	<b>93.423</b>	<b>94.720</b>	<b>95.355</b>	<b>0,20</b>

Tabla 1. Consumos de energía final por sectores (ktep) —excluidos usos no energéticos [www.idae.es -Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020]

El ahorro en términos de energía final, una vez descontados los sectores no incluidos en el ámbito de aplicación de la Directiva 2006/32/CE (básicamente, los sectores ETS —Emission Trading System—, incluidos en el ámbito de la Directiva 2003/87/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de octubre de 2003), se reduce a 11.532 ktep/año en 2016. Este ahorro, calculado sobre el consumo promedio correspondiente a esos mismos sectores de los cinco últimos años previos a la entrada en vigor de la Directiva, esto es, el consumo promedio del período 2003-2007, supone el 15,9% del total. El Plan de Acción 2011-2020 cumple, por tanto, con los objetivos de ahorro exigidos por la Directiva 2006/32/CE y es coherente con los objetivos globales acordados por el Consejo Europeo el 17 de junio de 2010, en relación con la mejora de la eficiencia energética primaria en un 20% en 2020. [4]

#### - ¿Qué es el suelo radiante?

El suelo radiante es un sistema de calefacción y algunos casos también de refrigeración (suelo refrescante) que consiste en hacer circular agua a través de unos tubos que recorren la habitación a climatizar produciéndose una transferencia de calor a su paso.

El suelo radiante como tal, es un término relativamente moderno, pues como explicaremos a continuación, es el resultado de una serie de mejoras de un sistema que se remonta a la época de los romanos en torno al siglo I a.C.

En sus orígenes dicho sistema respondía al nombre de “Hipocausto”. A continuación fueron los árabes quienes continuaron con su desarrollo, al que nombraron “Gloria”. Fueron los coreanos quienes más adelante utilizaron éste método, esta vez con el nombre de “Ondol”, hasta que finalmente evolucionó hasta lo que hoy conocemos como “suelo radiante”. A continuación

explicaremos brevemente en qué consiste cada uno de los sistemas anteriores:

## 3.2 Suelo radiante

En este punto explicaremos brevemente varios conceptos relacionados con el suelo radiante, foco de nuestro estudio. Para ello comenzaremos con un estudio histórico de este sistema en el que veremos cómo ha ido evolucionando poco a poco a través de distintas sociedades y distintas etapas hasta llegar al día de hoy. También realizaremos un breve estudio económico comparativo frente a otro sistema de climatización para ver a groso modo la viabilidad de proyectos que incluyan dicho sistema y terminaremos repasando todos aquellos elementos necesarios para llevar a cabo nuestra instalación.

### 3.2.1 Estado del Arte

#### - Hipocausto

Este sistema fue inventado por el ingeniero romano Cayo Sergio Orata, y su principal objetivo era, sobretodo, calentar las termas romanas. Más tarde, se fue perfeccionando y llegó hasta las villas romanas.

Consistía en un horno construido en un edificio exterior al edificio objeto. Los gases producidos en su interior eran conducidos mediante canalizaciones hasta el centro de la casa, cuyas baldosas eran sustentadas sobre pilares de ladrillos.

La altura por la que viajaba el aire caliente procedente del horno oscilaba entre 40-60 cm, siendo la temperatura final en las viviendas de no más de 30 °C.

Para evacuar los gases, estos eran conducidos a través de huecos realizados en las paredes hasta la parte alta de la vivienda. De esta forma se conseguía aumentar la temperatura del suelo y las paredes transmitiendo el calor al aire interior mediante convección y radiación. Otra de las funciones del Hipocausto era calentar el agua de los baños calientes mediante la conducción el calor a través del suelo. [5]

También era utilizado para calentar el agua de las termas mediante la conducción del calor a través del suelo.



Figura 1. Hipocausto [www.wikipedia.org]

- **Gloria:**

La “Gloria” fue utilizada en Castilla durante la Edad Media. Su principio de funcionamiento era prácticamente el mismo que el del hipocausto romano, aunque en este caso se utiliza sólo para definir el sistema de calefacción de las casas populares. Una de las diferencias con el hipocausto es que, mientras que los gases en el hipocausto eran evacuados mediante huecos realizados en las paredes, las glorias contenían unas chimeneas que dirigían los mismos hasta el exterior de una forma más directa.

- **Ondol:**

Este sistema consiste en reutilizar el calor proveniente de los fogones utilizados para cocinas. El humo producido recorría unos conductos subterráneos que aumentaban la temperatura del suelo a la vez que se dirigían hacia la chimenea para ser expulsado, como se puede observar en la figura 2.

El ondol tradicional estaba formado por bloques de granito o ladrillo con un espesor promedio de 5 cm que eran soportados por columnas del mismo material, lo cual constituían los “ductos” por donde debía circular el aire caliente. Para obtener un sistema más eficiente se hacía circular el humo en régimen turbulento, realizando montículos y cavidades en el terreno). La parte superior del piso era recubierta con un papel aceitado.

Al igual que en los sistemas vistos recientemente, el funcionamiento consistía en conseguir que el calor se desplazara o bien por radiación o por conducción a través de las paredes del piso. La temperatura era de unos 31 °C aproximadamente, quedando la casa aclimatada a unos 18 – 25 °C. [6]

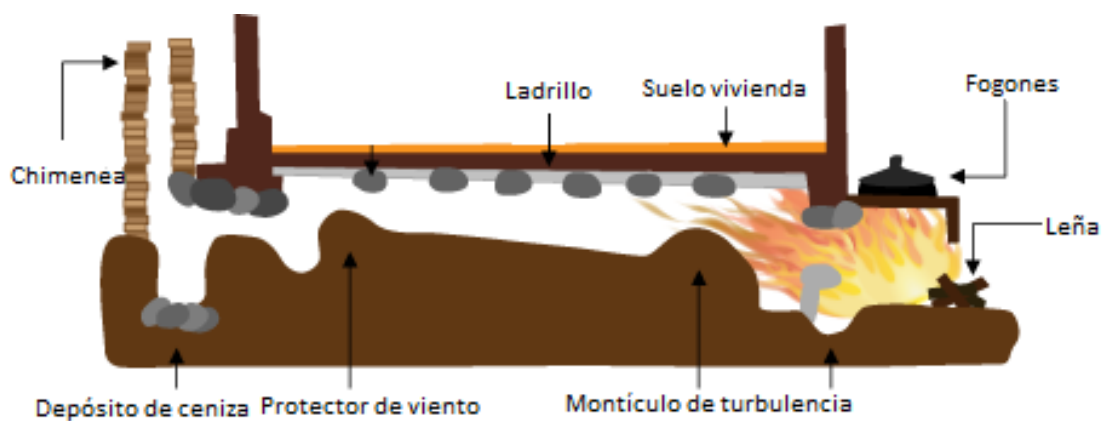


Figura 2. Partes de un Ondol [imagen adaptada de [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org). Noviembre 2015]

### 3.2.2 Suelo radiante frente a otros sistemas

Pese a que este sistema todavía se encuentra en auge, la diferencia con otros sistemas convencionales es considerable.

A continuación se presenta brevemente un estudio expuesto en el I Congreso de Climatización Eficiente que se celebró en Madrid en el año 2011. En el estudio se comparaba un sistema convencional de radiadores de aluminio de media y baja temperatura frente a un sistema de

calefacción por suelo radiante, ambos alimentados mediante una caldera de condensación.

El estudio se realizó para una vivienda de 4 plantas con 2 pisos por planta ubicada en Madrid.

El resultado del mismo se muestra en la siguiente tabla:

CASO	CONSUMO ENERGÉTICO (MW-h/año)	EMISIÓN DE CO <sub>2</sub> (ton/año)	INVERSIÓN INICIAL (€)	VAN A 10 AÑOS (€)	VAN A 15 AÑOS (€)	VAN A 20 AÑOS (€)
Radiadores (75°C/55°C/22°C)	64,0 (100%)	12,9	20.977	54.955	79.105	109.785
Radiadores (65°C/45°C/22°C)	62,7 (98,0%)	12,6	21.916	55.230	78.890	108.947
Radiadores (55°C/35°C/22°C)	61,5 (96,1%)	12,4	24.041	56.442	79.649	109.131
Suelo radiante (40°C/30°C/20°C)	45,0 (70,3%)	9,0	28.447	52.338	69.319	90.890

Tabla 2. Estudio económico según tipo de sistema de calefacción

[<http://www.congresoclimaplus.es/pdf/ponencias-2011/etsii-uned-estudio-comparativo-suelo-radiante-con-radiadores-aluminio-media-y-baja-temperatura-congreso-climaplus-2011.pdf>]

Si bien es cierto que existe una ligera diferencia en la inversión inicial, vemos como el ahorro energético es de prácticamente un 30%, lo que supone que la inversión sea amortizada en algo menos de 10 años, y de ahí en adelante nos produzca un ahorro cercano a 2.000€ anuales. Por otro lado, a nivel de emisiones de CO<sub>2</sub> se puede observar que también se ven disminuidas en más de un 25% en cualquiera de los casos. [7]

### 3.2.3 Instalación de suelo radiante

A la hora de elegir el sistema de climatización de nuestra vivienda nos hemos preocupado bastante en elegir un sistema muy confortable a la vez que eficiente. Es por ello que hemos elegido un sistema de suelo radiante, ya que, como podemos observar en la figura 3 se trata del sistema de calefacción cuyo confort se asemeja más al ideal.

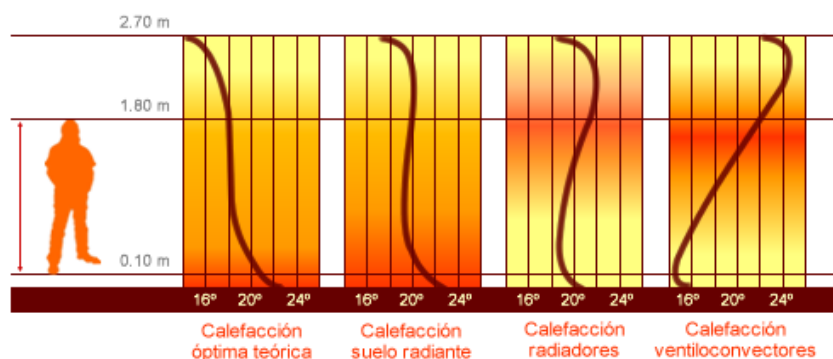


Figura 3. Distribución de la temperatura en función de la altura según el tipo de sistema de calefacción

[<http://www.sueloradiante.com/>. Octubre 2015]

El principio de funcionamiento del suelo radiante es bastante simple. El agua es calentada a través de algún sistema externo (caldera, paneles solares, bombas de calor, etc.) a una

temperatura de entre 40 y 50 °C. Una vez que el agua es calentada se hace circular a través de una serie de circuitos, dispuestos de una forma concreta, de tal forma que toda la superficie que queremos calefactar quede cubierta con los mismos.

Éstos irán por debajo del suelo (ya sea parqué, azulejos, etc.) cubiertos por una pequeña capa de mortero. La transferencia de calor se producirá primeramente por convección desde el fluido hasta el tubo, de aquí, por medio de la conducción, recorrerá primeramente el espesor del tubo, la capa de mortero y finalmente el pavimento final. Una vez llegados a este punto, nuevamente por convección éste calor se transferirá al aire que circule por la habitación y de forma ascendente, consiguiendo así la condición de confort mencionada anteriormente.

La principal ventaja de este sistema, aparte de la distribución del calor, es el ahorro energético que nos supone. En sistemas de calefacción convencionales, para obtener la misma temperatura final, debemos aumentar la temperatura de nuestro fluido caloportador hasta aproximadamente 80 °C, es decir, casi el doble.

Además, cada vez es más común adaptar la instalación para conseguir refrigerar la vivienda en los meses de verano.

El proceso de transferencia de calor es idéntico pero en el otro sentido, es decir, el fluido que circula a través de los tubos, esta vez a una temperatura inferior a la que hay en el interior de la habitación a refrigerar, “roba” el calor del mismo y es expulsado al exterior dependiendo del sistema escogido, de una manera u otra.

### 3.2.4 Elementos que conforman la instalación de suelo radiante

La instalación completa de suelo radiante está compuesta por los siguientes elementos: [8]

- **Tuberías emisoras evalPEX:** tubería de polietileno reticulado de alta densidad fabricadas según el método Engel, un proceso químico realizado a altas condiciones de presión y temperatura, de tal forma que se consigue que las tuberías tengan una gran resistencia a la corrosión y erosión, sean estancas frente al oxígeno, no se vean afectados por los aditivos del hormigón, tienen un peso muy reducido y una gran flexibilidad. El diámetro de los mismos será de 16mm, que es el que se usa habitualmente en viviendas. El paso entre tubos, siguiendo las indicaciones del fabricante, será de 15 cm para todos los locales, excepto los baños que se tomará 10cm.

Estas tuberías conformarán los distintos circuitos que recorran todos los espacios que deseamos acondicionar. La configuración de los tubos debe ser tal que, la ida y el retorno se alternen a lo largo de todo el recorrido, para así conseguir una distribución de temperatura homogénea en todo el pavimento. Atendiendo al tipo de configuración, puede ser:

- Doble serpentín: las tuberías de ida y de retorno avanzan en paralelo, una entre la otra.
- Espiral: la diferencia con el doble serpentín reside en que los ángulos de giro son menos pronunciados, lo que facilita la instalación sobre todos en el caso de grandes diámetros.

Muestra de ello es la figura 4 que se adjunta a continuación.



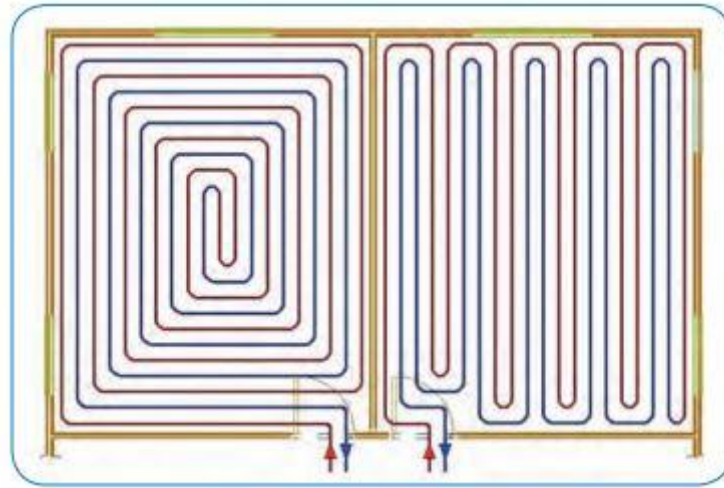


Figura 4. Configuración doble serpentin (izquierda) y configuración en espiral (espiral) [www.uponor.es. Noviembre 2015]

En nuestro caso, la opción escogida es la de **espiral**.

- **Panel portatubo:** compuesto por un conjunto de “tetones” de Poliestireno expandido, (EPS), cubierta de una lámina portatubos de poliestireno termoconformado (PE), que además de permitir la unión de los paneles por sus extremos, nos proporciona un gran aislamiento contra el ruido producido por el impacto. Figura 5



Figura 5. Panel portatubos [www.uponor.es. Noviembre 2015]

- **Zócalo perimetral adhesivo:** Como se puede observar en la figura 6, se trata de una banda de espuma de polietileno, cuya misión principal es absorber las dilataciones producidas por el mortero de cemento colocado sobre los tubos emisores debido a su calentamiento/enfriamiento. Así mismo, produce un beneficioso efecto de aislamiento lateral del sistema tanto térmico como acústico. Se debe asegurar que el forjado y tabiques del local no estén en contacto con el suelo radiante, para asegurar que dicha losa se pueda contraer y dilatar de forma libre con las variaciones de temperatura, para que no se produzca ningún tipo de grieta en la losa debido a empujes o presiones indeseadas. Se adhiere a la base de las paredes del área a climatizar, desde el suelo base hasta la cota superior del pavimento.



Figura 6. Zócalo Perimetral [www.uponor.es. Noviembre 2015]

- **Aditivo para mortero:** producto líquido que se mezcla con el mortero y cuya finalidad es conseguir que entre el mortero y el tubo haya un perfecto contacto para que no haya aire y la transferencia de calor sea lo más óptima posible.
- **Colectores con caudalímetro:** colectores diseñados para ser capaces de saber en todo momento el caudal circulante por cada circuito, lo que facilitará su equilibrado. El colector de retorno contiene unas llaves manuales de apertura y de cierre para cada circuito. Para realizar el control automático del caudal, estas llaves contienen en sus roscas unos cabezales electrotérmicos. Figura 7



Figura 7. Colectores con caudalímetro [www.uponor.es. Noviembre 2015]

- **Bypass para colector:** Es una pieza situada en la impulsión y el retorno, que incorpora una válvula de presión para asegurar la circulación de agua en el circuito secundario cuando todos los circuitos estén cerrado, para evitar así, una sobre presión. Se suele utilizar cuando el grupo de impulsión no lo lleve incorporado o cuando no utilizamos grupo de impulsión.
- **Grupos de impulsión:** Conjunto formado por la bomba de impulsión, la válvula mezcladora, el bypass si lo hubiera, y la centralita de control en nuestro caso. Para nuestro sistema de refrigeración, será necesario también incluir una sonda de humedad. Aunque como veremos más adelante, en nuestro caso de estudio será necesario poner una bomba de circulación y el resto de elementos en vez del grupo de impulsión.

A continuación podemos apreciar en la figura 8 la sección de un plano general de una instalación de suelo radiante con todos sus elementos.

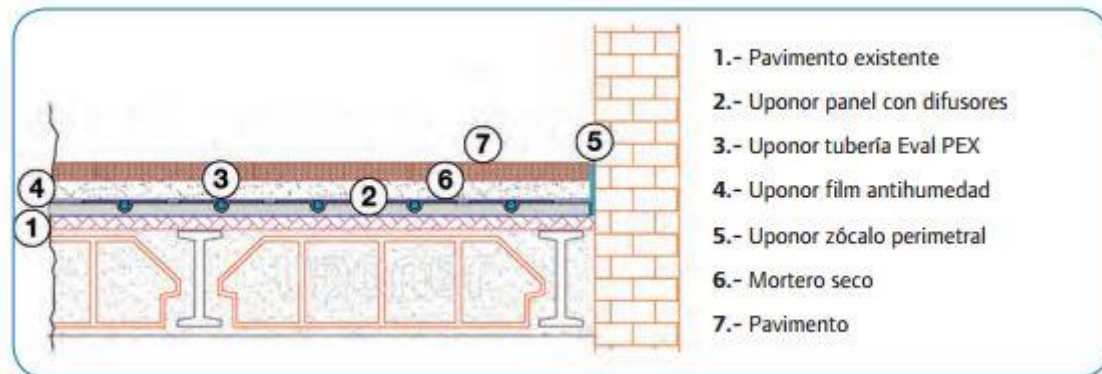


Figura 8. Partes de una instalación de suelo radiante [www.uponor.es. Noviembre 2015]

### 3.2.5 Sistema de control remoto

Hoy en día los avances tecnológicos se suceden constantemente y muchos de estos avances tienen como objeto hacer la vida del ser humano mucho más fácil y confortable. Una muestra de ello es el sistema de control para el suelo radiante, con el cual podremos saber en todo momento la temperatura a la que se encuentran nuestros circuitos, la humedad además conectar el sistema de climatización deseado desde donde queramos, ya que es posible realizar todo esto a través de nuestros Smartphone, Tablet u ordenadores.

Para ello instalaremos el sistema Radio Control System conectado a la centralita C46, todo ello de Uponor. El sistema estará compuesto por los siguientes elementos: [8]

- **Uponor Radio Control System:** Como su nombre indica, es un sistema de control por radio, sin necesidad de la existencia de cables. Su misión es controlar la temperatura de cada circuito a través de la apertura y cierre de los cabezales electrotermostáticos situados en los colectores de distribución. Para controlar la temperatura, recibe la señal de cada termostato y así regula el caudal en función de ésta. También posee funciones de ahorro energético y de equilibrado automático de los circuitos, lo que permite un ahorro extra en la instalación de hasta un 8%.
- **Centralita C 46:** Este sistema se encarga de controlar la temperatura de impulsión del agua que llega hasta los colectores, ya sea tanto en la instalación de calefacción como de refrigeración, y en función de la temperatura interior o exterior. La sincronización con los restos de sistemas, como el sistema Radio Control System, se realiza vía radio. En particular, éste sistema permite la instalación de hasta 6 sondas de humedad, la única en su categoría, las cuales reducen el riesgo de condensación en el caso de suelo refrescante, problema principal en este tipo de instalaciones. Además de esto, posee una alarma en caso de fallo de funcionamiento.
- **Termostato Premium Radio Control System:** Encargado de medir la temperatura operativa mediante una sonda que lleva incorporada. Esto hace que haya una gran exactitud y permita reducir el consumo energético.



- **Modulo U@home:** componente muy práctico y útil de cara al consumidor. Gracias a su control remoto permite el control directo sobre la instalación. A través de cualquier dispositivo móvil, tablets, ordenadores o televisores podemos tener acceso al Radio Control System y así mantener cada habitación a la temperatura que deseemos.

Con todo ello, haremos de nuestra instalación un sistema más óptimo y a nuestro propio gusto, ya que como hemos visto, podremos tener controladas todas las condiciones climáticas de la vivienda de una forma rápida y sencilla.

#### 4 ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO PARA VIVIENDAS UNIFAMILIARES DOTADAS DE SUELO RADIANTE

En este apartado se plantearán las distintas opciones que se han barajado, presentado una breve descripción de su funcionamiento además de una serie de ventajas y desventajas, a través de las cuales discurriremos para llegar finalmente a la opción deseada.

En el Anexo I “Alternativas de diseño” del presente proyecto, se describen de manera más detallada cada una de las opciones planteadas.

Sistema	Funcionamiento	Ventajas	Desventajas
Aeroterminia	Sistema de calor aire-agua que consiste en captar el calor del aire exterior y calentar el agua del sistema principal.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es renovable.</li> <li>- Es válido tanto para invierno como para verano.</li> <li>- Mínimo mantenimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Necesita una unidad exterior</li> <li>- Inversión inicial alta</li> <li>- Con temperaturas inferiores a -15°C su rendimiento baja considerablemente</li> </ul>
Geoterminia	Consiste en aprovechar la energía en forma de calor que hay almacenada en el interior de la tierra, y que se mantiene prácticamente constante a lo largo del tiempo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es renovable.</li> <li>- Es una fuente constante de energía.</li> <li>- Es válido tanto para invierno como para verano.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No se puede transportar</li> <li>- Posibilidad de emisiones tóxicas</li> <li>- Alta inversión</li> </ul>

Energía Solar Térmica	A través de unos captadores solares, el fluido caloportador es calentado por la radiación del sol y es conducido hacia el intercambiador de calor.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es renovable.</li> <li>- Idóneo para lugares donde el tendido eléctrico no llega.</li> <li>- No requiere espacio adicional, pues se suele instalar en los tejados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alcanza altas temperaturas, lo que puede resultar peligroso</li> <li>- Fluctúa mucho en función de la estación del año</li> <li>- Gran inversión inicial</li> </ul>
Caldera pellets	Los combustibles (pellets o restos orgánicos) se queman produciendo una llama horizontal y dirigida hacia la caldera. El calor generado es conducido hacia el intercambiador de calor.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Escasa emisión de CO<sub>2</sub></li> <li>- No tiene riesgos de explosión</li> <li>- No es un combustible volátil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requiere bastante limpieza por la generación de cenizas</li> <li>- Necesita almacenar los sacos de pellets</li> <li>- Hacen cierto ruido</li> </ul>
Caldera condensación	Al igual que en el resto de calderas, mediante la combustión se calienta el agua. La diferencia es que este sistema aprovecha el calor latente de los gases para seguir calentado agua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rendimientos apróx. del 109%</li> <li>- Aptas para sistemas centralizados</li> <li>- Pueden regular la temperatura en función de la demanda energética</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Necesidad de un desagüe para eliminar el agua condensada</li> <li>- Tamaño superior a las calderas convencionales</li> </ul>

Tabla 3. Alternativas para optimizar el sistema de suelo radiante [Hoja de cálculo propia]

Para decidirnos por la alternativa que más se ajuste a nuestras condiciones de proyecto, es decir, conseguir un sistema de climatización lo más eficiente y sostenible posible, hemos descartado primeramente aquellos sistemas que no sean renovables, los dos tipos de calderas. La siguiente preferencia que hemos antepuesto ha sido la versatilidad de la instalación, aquellos sistemas que sean capaces de proporcionarnos el confort térmico durante todo un periodo anual, es decir, que nos sirvan tanto para calefacción como para refrigeración. Por lo tanto, la energía solar térmica se descarta en este punto. Ante las dos alternativas que nos quedan disponibles nos hemos decantado directamente por la geotermia. El motivo principal y clarividente ha sido el hecho de que se trate de una energía constante a lo largo de cada ciclo. Esto nos asegura la posibilidad de conocer de antemano el funcionamiento y el rendimiento que tendrá nuestra instalación, ya que no dependerá de ningún factor externo variable, como puede ser el viento en el caso de la aerotermia. Asimismo, al ser más calientes los focos de donde la energía geotérmica extrae el calor, esto hace que su COP sea más elevado que en el caso de la aerotermia, lo que se convertirá en un mayor ahorro.

Por esto, podemos concluir que nuestra instalación que diseñaremos para cubrir las necesidades climáticas de nuestra vivienda tanto en invierno como en verano estará compuesta por un sistema de geotermia para minimizar el salto térmico de energía unido a un sistema de suelo radiante/refrescante como sistema principal de transferencia de calor en el

interior de la vivienda. Un esquema general de la instalación se puede visualizar en el plano 4.

#### 4.1 Instalación geotérmica

Como hemos mencionado anteriormente, la energía geotérmica consiste en aprovechar la energía calorífica que se encuentra atrapada en el interior de la superficie terrestre. Éste calor es transmitido por conducción desde el interior de la tierra hasta su superficie.

A diferencia de las otras formas de energías renovables (solar térmica y fotovoltaica y, eólica, biomasa e hidroeléctrica) que utilizan la radiación solar de forma directa o indirecta, la energía geotérmica es la única que emplea directamente el calor almacenador en el interior de la tierra. Dicho calor puede ser producido o bien por la desintegración de isótopos radiactivos ( $U^{235}$ ;  $U^{238}$ ;  $Th^{232}$  y  $K^{40}$ ) o bien por el movimiento entre las capas terrestres y el calor latente de la cristalización del núcleo. Esta característica hace que este tipo de energía funcione regularmente y de forma prácticamente constante.

Cuando hablamos de energía geotérmica debemos diferenciar dos tipos de sistemas:

- Sistemas hidrotérmicos: consiste en una fuente de calor rodeada de roca impermeable a través de la cual se produce la transferencia de calor hacia el agua (acuífero) que circula sobre ella, tal y como se puede apreciar en la figura 9.



Figura 9. Sistema hidrotérmico [<https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2011/11/energia-geotermica.pdf>]

- Sistema de roca caliente: formado por bolsas de rocas impermeables cercanas a un foco calorífico pero que no poseen agua (acuíferos) para extraer directamente, por lo que es necesario aportar a través de perforaciones agua fría que capte el calor. Por ello es necesario realizar dos perforaciones, una para la aportación de agua frío y otra para su extracción.

Si prestamos atención a la temperatura del fluido extraído, podemos distinguir la energía geotérmica de la siguiente manera:



- Baja temperatura (menor de 150°C). Se emplea para climatización de espacios, invernaderos, procesos industriales, etc. Se puede extraer el calor a través de una bomba de calor o directamente.
- Alta temperatura (mayor de 150°C). Este tipo de energía se utiliza mayoritariamente para la producción de electricidad.

#### 4.1.1 Estado del arte

Para conocer el origen de este tipo de energía debemos remontarnos al siglo XIX. En la zona de Larderello (Italia), Francisco Loderdel fundó una industria química con el objeto de extraer el ácido bórico existente en las aguas subterráneas. En 1827 se empleó un nuevo sistema para aprovechar este calor procedente de las aguas termales y se desarrollaron nuevos mecanismos para convertir esta energía en energía mecánica.

Fue en 1904 cuando se intentó por primera vez utilizar la energía geotérmica para general energía eléctrica, teniendo un gran éxito. Por lo que en 1913 se construyó la primera central geotérmica del mundo. [9]

A partir de aquí el aumento de la producción fue cuestión de poco tiempo. En 1942 la capacidad instalada era de unos 128 MWe y, tras la II Guerra Mundial y el atraimiento hacia un montón de países comenzó a tener mayor relevancia. En 1950, en Italia ya se producían 300MWe. Nueva Zelanda en 1958, México en 1959 y Estados Unidos en 1960 fueron los siguientes países en continuar en la producción e investigación de este tipo de energía.

Pero el desencadenante final que produjo un crecimiento exponencial de la producción de energía eléctrica a partir de energía geotérmica fue la crisis del petróleo en el año 1973. A raíz de este acontecimiento son muchos los países que se incorporan al uso de esta nueva tecnología, como Japón, Islandia y El Salvador (1975), Indonesia, Kenia, Turquía y Filipinas (1980), Nicaragua (1985), Costa Rica (1995), Guatemala (2000), etc. [10]

Con todo esto, como se puede apreciar en la figura 10, en lo que va de década la potencia geotérmica instalada prácticamente se ha duplicado, gracias sobre todo a los avances en I+D que se están produciendo.



Figura 10. Evolución de potencia mundial instalada de energía geotérmica para producción de electricidad [www.igme.es. Marzo 2016]

#### 4.1.2 La geotermia en España

En España, el estudio de los recursos geotérmicos no se comenzó a realizar hasta principios de los años 70. Fue a través del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) quien realizó el Inventario General de Manifestaciones Geotérmicas. Una vez que se tuvo un pequeño conocimiento general de las cualidades del terrero español, se intentó profundizar más en búsqueda de focos con alta capacidad geotérmica. Tras décadas de estudio y numerosas perforaciones se definieron zonas de relativa importancia geotérmica. Estas zonas son Murcia, Almería y Granada en la zona sureste peninsular; Madrid en el centro peninsular; Barcelona, Gerona y Tarragona en el nordeste; y Lugo, Pontevedra y Orense en el noroeste. También fueron investigadas otras zonas con un menor potencial, como son Burgos, Albacete, Lérida y Mallorca.

Todos estos focos de actividad geotérmica son de baja temperatura, es decir, inferior a 150°C. Y por lo tanto se utilizan principalmente para la calefacción de edificios y suministro de agua caliente. Aunque en la zona del levante también ha sido aprovechado el calor subterráneo para invernaderos.

En el mapa que aparece en la figura 11 se observa cómo se distribuyen estos focos a lo largo de toda la geografía nacional.



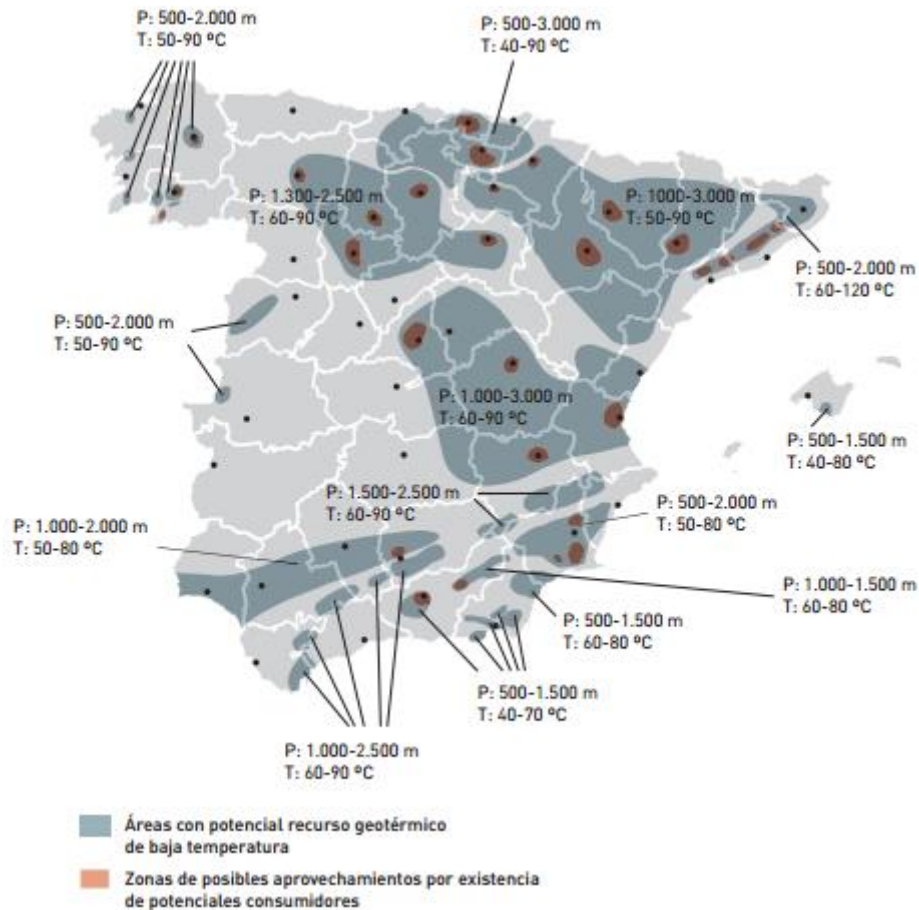


Figura 11. Distribución de los focos de recursos geotérmicos en España [www.igme.es. Marzo 2016]

El único área con posibilidades reales de obtener calor a alta temperatura es el de las Islas Canarias, debido a su gran actividad volcánica, pero aún no se hallado ningún yacimiento para explotar a nivel comercial. [11]

#### 4.1.3 Funcionamiento sistema geotérmico de baja entalpía

Para apoyar el sistema de suelo radiante y hacerlo aún más eficiente se optado por adaptarle un sistema geotérmico de baja entalpía.

A parte del calor procedente del interior de la tierra, la superficie terrestre absorbe los rayos del Sol, por lo que aumenta su temperatura, especialmente en los meses de verano. Debido a la gran inercia térmica que tiene la tierra, este calor es almacenado estacionalmente. Con todo esto podemos confirmar que se trata de una energía limpia y renovable.

Una característica que hace muy interesante este sistema, es el hecho de que la temperatura del terreno se puede considerar prácticamente constante (a partir de cierta profundidad) a lo largo de un ciclo anual (figura 12), lo que hace que de igual manera lo sea la temperatura de intercambio con el circuito de agua y como consecuencia de esto, también lo sea la temperatura de la bomba de calor. Esto implica un rendimiento constante a lo largo de cada periodo, ya sea invierno o verano.

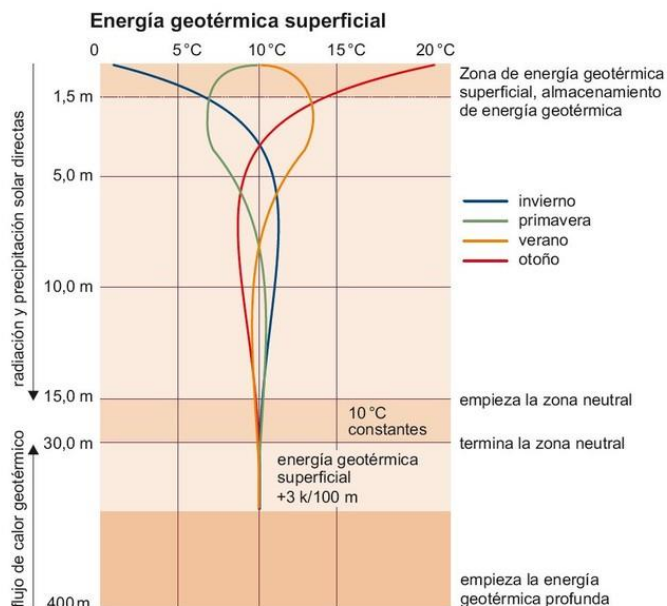


Figura 12. Distribución de la temperatura en función de la profundidad del terreno [www.solarpraxis.de. Octubre 2015]

Como se puede apreciar en la anterior ilustración, a partir de unos 5-10 metros de profundidad la temperatura puede oscilar alrededor de 5°C según la estación del año en la que nos encontremos, lo que resulta interesante cuando el gradiente de temperaturas existente en el exterior entre las estaciones de verano e invierno es de aproximadamente de 20°C. Más relevante es, si cabe, que a partir de los 20-25°C la temperatura interna de la tierra se puede considerar prácticamente constante.

Para ser capaces de interactuar (tanto extraer como ceder) con el calor del suelo, es necesario la realización de diversas perforaciones, en función de la demanda de calor que precisemos, e instalar una serie de colectores, por los que circulará el fluido caloportador, encargado directo del suministro de calor.

El fluido que emplearemos para hacerlo circular a través de los colectores no podrá ser agua únicamente, pues correríamos el riesgo de que alcanzase su punto de congelación rápidamente y esto produjera una serie de avería y roturas que dañasen seriamente nuestra instalación. Es por ello que emplearemos una mezcla de agua con anticongelante. Para ellos, seguiremos las indicaciones dadas por el IDAE, que en su “Guía técnica de diseño de sistemas de intercambio geotérmico” recomienda el uso de agua con propilenglicol, en una proporción 70-30% respectivamente.

A continuación se indican las propiedades de dicha mezcla.

Fabricante	Agua + Propilenglicol al 30%
Densidad a 20°C (kg/m <sup>3</sup> )	863
Punto de congelación (30% volumen)	-12
Punto de ebullición, °C	187
Calor específico a 15°C (J/Kg·K)	2503,71
Viscosidad a 0°C (Pa·s)	0,243
Viscosidad a 20°C (Pa·s)	0,0605
Viscosidad a 40°C (Pa·s)	0,0180
Conductividad a 20°C (W/m·K)	0,2

Tabla 4. Propiedades del fluido caloportador (agua + propilenglicol al 30%) [Proyecto “Climatización de un edificio de oficinas mediante energía geotérmica”]

Cabe recalcar nuevamente que al tratarse de una instalación geotérmica de baja entalpía en el que sólo extraeremos el calor interno de la tierra en invierno, y cederemos el calor de la vivienda en verano, en ningún momento se trabajará con fluidos a alta entalpía y presión que pudieran ocasionar en algún caso problemas ambientales ni geográficos. Y de igual modo, todo el fluido que circule a través de los colectores será aportado por nosotros, por lo que tampoco se procederá a la extracción de ningún recurso hídrico existente.

Como acabamos de mencionar, el intercambio geotérmico se realiza a través de un sistema cerrado a través de las perforaciones y la bomba geotérmica. En invierno, la tierra transfiere al fluido el calor que almacena y se utiliza para calefacción, ya que la bomba geotérmica será capaz de elevar esta temperatura con su eficaz compresor a más de 55°C si fuera necesario. En verano, ocurrirá el proceso inverso, el fluido captará el calor del interior de la vivienda para posteriormente transferirlo al, de forma que se obtiene refrigeración.

En el subsuelo, a partir de unos 5 metros de profundidad, los materiales geológicos permanecen a una temperatura estable, independientemente de la estación del año o las condiciones meteorológicas. En España es alrededor de 15°C. Entre los 15 y 20 metros de profundidad, la estabilidad térmica es de unos 17°C todo el año, que se puede considerar una verdadera fuente de calor. A su vez, esta estabilidad térmica supone que, en verano, el suelo esté considerablemente más fresco que el ambiente exterior.

El refrigerante que circula es conducido a la bomba de calor geotérmica para generar la energía suficiente para la completa climatización de una vivienda. Si en invierno la bomba geotérmica saca calor de la tierra, en verano se deshace de él transfiriéndolo al pozo. La bomba geotérmica es reversible, por lo que el calor de la vivienda en verano es extraído y transferido al subsuelo a través de los mismos colectores. [12]

#### 4.1.4 Configuración a emplear y elección de los tubos

Atendiendo al tipo de instalación, nos encontramos con dos posibilidades a la hora de realizar la obra:

- Configuración horizontal
- Configuración vertical.



La instalación horizontal resulta más económico y sencillo de instalar que la vertical, pues bastaría con realizar unas zanjas de entre 0,6 y 1,5m de profundidad para tenerla perfectamente enterrada. El problema de este tipo de perforaciones es que se necesita un espacio de 1,5 veces la superficie de la vivienda a calefactar, que resulta en la mayoría de los casos un factor bastante restrictivo, aunque no lo es en nuestro caso.

El sistema vertical permite la ejecución de grandes instalaciones con una perfecta integración en la edificación. Necesitas menor espacio de terreno para su instalación, incluso, en obras nuevas, se podría situar debajo del edificio. El motivo que nos ha llevado a tomar la decisión de realizar las perforaciones verticales está basado puramente en la eficiencia de la instalación, ya que como hemos visto en apartados anteriores, cuanto mayor sea la profundidad de la perforación, mayor estabilidad tendrá la temperatura y por lo tanto más eficiente y regular será nuestra instalación. A partir de 20-30 m la temperatura del terreno se mantiene constante a lo largo de todo el año y para este sistema las perforaciones se realizan entre 40 y 150 m de profundidad.

La sonda está formada por tubos, en este caso verticales. El número de los tubos va a depender de la disposición. Si tuviéramos una disposición en U-Simple tendríamos 2 tubos, mientras que si fuese U-Doble tendríamos 4. Siempre unidos de dos en dos en su parte inferior.

El material que se suele emplear para la fabricación de las mismas es polietileno (PE) o polibutileno (PB). Las principales características de estos materiales frente a otros es que son bastante resistentes y se pueden unir mediante fusión por calor para formar empalmes más fuertes que el mismo tubo.

Los diámetros empleados están normalizados a 16, 25, 32 y 40mm. Dependiendo de la configuración seleccionada los más empleados son unos u otros. Para el caso de la configuración U-Simple el diámetro más empleado es el de 40mm mientras que para la configuración U-Doble lo es el de 32mm.

Según estudios de varias empresas dedicadas a la producción de sondas geotérmicas, en los que se prueban ambas combinaciones para unas condiciones de 117 horas de funcionamiento para la misma profundidad de perforación, se ha demostrado que instalando las tuberías en U-Simple de 40mm la temperatura media del fluido llega a ser un 8,8% más alta que instalando la U-doble de 32mm.

Tanto el polietileno normal (PE) y reticulado (PEX) como el polibutileno (PB) se comportan adecuadamente a las temperaturas de trabajo del intercambiador de calor, fijadas por la bomba de calor, y que dependen del punto de trabajo de la bomba de calor seleccionada. Cuando la bomba de calor está en modo calefacción (produciendo en el condensador agua caliente para suministrar al edificio entre 45-55 °C), en el evaporador se produce agua fría a unos 5-15 °C, que es la que circula por las tuberías del intercambiador de calor enterrado. En refrigeración, cuando la bomba de calor produce frío en el evaporador, a una temperatura comprendida entre 7-12 °C, por las tuberías del intercambiador enterrado circulará el agua de intercambio de calor con el condensador a unos 25-35 °C. Para estas temperaturas de trabajo el material más aceptado es el PE100. Siendo 100 la rugosidad de la tubería. [13]

Para seleccionar el resto de parámetros que definan nuestras sondas nos fijaremos en la siguiente tabla 5:

Tubería HDPE PE 100							
Diámetro Nominal D (mm)	Diámetro Nominal Equivalente (pulgadas)	Relación dimensional estándar SDR					
		SDR 27,6	SDR 21	SDR 17	SDR 13,6	SDR 11	SDR 9
		PRESIÓN NOMINAL PN					
		PN 6	PN 8	PN10	PN 12,5	PN 16	PN 20
Espesor mínimo (mm)							
16	3/8	-	-	-	-	-	2,3
20	1/2	-	-	-	-	-	2,3
25	3/4	-	-	-	-	2,3	2,8
32	1	-	-	2,3	2,4	3	3,6
40	1 1/4	-	2,3	2,4	3	3,7	4,5
50	1 1/2	2,3	2,4	3	3,7	4,6	5,6
63	2	2,3	3	3,8	4,7	5,8	7,1
75	2 1/2	2,8	3,6	4,5	5,6	6,8	8,4
90	3	3,6	4,3	5,4	6,7	8,2	10,1
110	4	4	5,3	6,6	8,1	10	12,3
125	5	4,6	6	7,4	9,2	11,4	14
140	5 1/2	5,1	6,7	8,3	10,3	12,7	15,7

Tabla 5. Características de los distintos tubos [www.minetur.gob.es. Enero 2016]

Teniendo en cuenta todo lo anteriormente citado, nuestro intercambiador tendrá una disposición **U-simple** con tubos de **PE100 DN 40 PN 10 SDR17**.

#### 4.1.5 Bomba de calor geotérmica.

La bomba de calor es un elemento fundamental y cuyo funcionamiento ha sido determinante a la hora de seleccionar nuestro sistema de apoyo a nuestra instalación de climatización.

El hecho de que pueda trabajar tanto para calefacción como para refrigeración le da una versatilidad frente al resto de sistemas, además de sus altos rendimientos.

Este tipo de bombas cuenta con un COP bastante alto (aproximadamente entre 4 y 5). Siendo el COP el coeficiente de operatividad (coefficient of performance) referido a potencia calorífica, mientras que para medir el rendimiento de la potencia frigorífica lo mediremos con el EER (energy efficiency ratio). El rendimiento será menor cuanto más bajo sea la temperatura del agua de trabajo, por lo que hace que nuestra opción de suelo radiante sea la más adecuada, ya que la temperatura operativa de trabajo está entre 30°C y 40°C.

##### 4.1.5.1 Componentes

1. **Compresor:** Componente mecánico encargado de aumentar, mediante un aporte eléctrico (es el único que consume energía eléctrica), la presión del refrigerante, el cuál llega en un estado gaseoso y normalmente sobrecalentado (procedente del evaporador) hasta hacerle alcanzar la presión necesaria para que se produzca el cambio de estado a líquido, cediendo calor al entorno. Al ser un elemento mecánico se podría considerar que es el componente al que más atención habrá que prestar en temas de mantenimiento.
2. **Condensador:** En este elemento, al fluido procedente del compresor, ya en estado líquido se le extrae el calor y por lo tanto, se consigue que pase a un estado de

líquido saturado.

3. **Válvula de expansión:** Para volver a su estado inicial y repetir el ciclo de nuevo, el refrigerante pierde presión y temperatura en la válvula de expansión, manteniéndose en estado líquido.
4. **Evaporador:** En el evaporador, el refrigerante en bajas de condiciones de presión y temperatura absorbe el calor procedente del intercambiador geotérmico, de tal forma que se produce el cambio de fase de líquido a gas.

#### 4.1.6 Ciclos de calefacción y refrigeración

Como bien hemos comentado, la característica que ha resultado desencadenante en el proceso de selección del sistema de apoyo a nuestro suelo radiante, ha sido la posibilidad de invertir el ciclo de trabajo de la bomba para las estaciones de verano e invierno. La bomba de calor realizará el ciclo de refrigeración durante los meses de verano, mientras que en los meses de invierno lo hará como ciclo de calefacción. Para describir ambos procesos nos ayudaremos de la figura 13.

##### 4.1.6.1 Ciclo de calefacción

- El refrigerante, al llegar al evaporador en estado líquido, consigue evaporarse gracias al calor robado al fluido caloportador que recorre las sondas geotérmicas procedentes del suelo (4). A través de una válvula de cuatro vías (5), llegará al compresor.
- El compresor, gracias a un consumo de energía externo, eleva la temperatura y presión del gas refrigerante. (1)
- El condensador, que es un intercambiador de calor, el gas procedente del compresor cede su calor al circuito de climatización escogido y se condensa.(2)
- A la válvula de expansión llega líquido a alta presión y baja temperatura, y tras su paso obtenemos nuevamente gas a baja presión y temperatura.(3)

##### 4.1.6.2 Ciclo de refrigeración

- Gracias al aporte de energía, el compresor eleva la presión y la temperatura del gas refrigerante (1), y se dirige a través de la válvula de cuatro vías (5) al condensador.
- En el intercambiador, el gas condensa cediendo su calor al exterior. (4)
- Al llegar a la válvula de expansión, el fluido en estado líquido y a alta presión, reduce su presión y se convierte en gas refrigerante. (3)
- En el evaporador, el fluido absorbe el calor procedente del interior de la vivienda. De esta forma se evapora y completa el ciclo. (2)

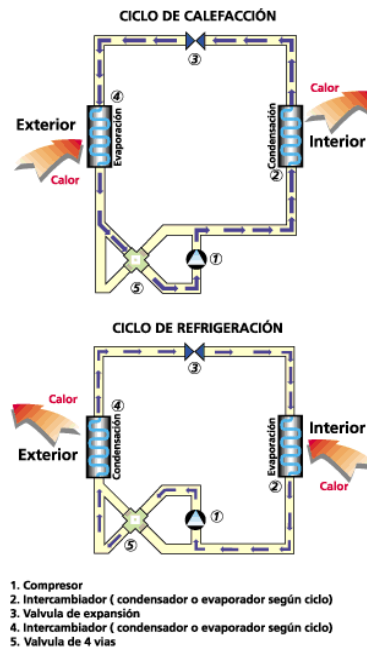


Figura 13. Esquema de funcionamiento de la bomba geotérmica para calefacción (imagen superior) y refrigeración (imagen inferior) [www.repsol.com. Diciembre 2015]

#### 4.1.7 Operación bomba de calor.

Como todos los aparatos eléctricos, el funcionamiento real no es igual al ideal, aunque se trabaja en que la diferencia entre ambos sea la mínima posible, ya que esas diferencias sólo son pérdidas económicas y energéticas.

A continuación veremos una comparación (figuras 14 y 15) entre ambos casos referidos al funcionamiento de nuestra bomba de calor.

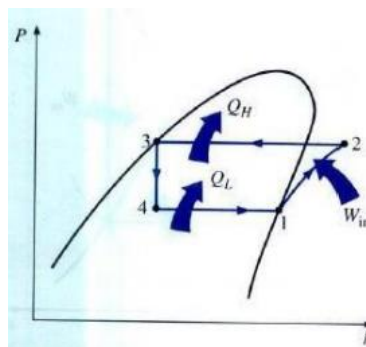


Figura 14. Diagrama Ph bomba de calor geotérmica [Proyecto Fin de Carrera "Climatización geotérmica de un edificio. Diciembre 2015]

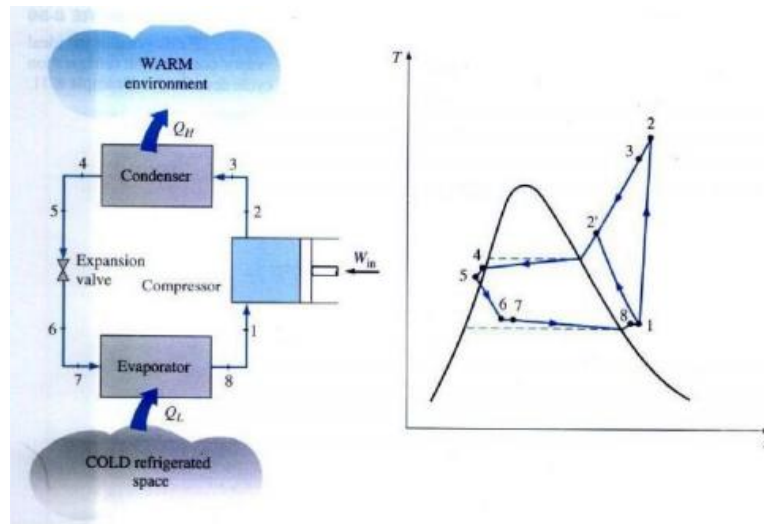


Figura 15. Diagrama TS bomba de calor geotérmica [Proyecto Fin de Carrera "Climatización geotérmica de un edificio. Diciembre 2015]

## 5 CASO DE ESTUDIO

Este apartado consistirá en la descripción de nuestra vivienda, tanto a nivel geográfico como a nivel distributivo, mencionando también las condiciones ambientales que envuelven a nuestra vivienda.

### 5.1 Emplazamiento geográfico

Primeramente realizaremos un estudio del emplazamiento en el que situaremos la vivienda, ya que es imprescindible a la hora de conocer las condiciones ambientales así como las condiciones del terreno.

#### 5.1.1 Situación geográfica

La vivienda se encuentra en el término municipal de Pozuelo de Alarcón, en la Calle Ese nº 6, C.P.28223, Madrid, como podemos observar en la figura 16.



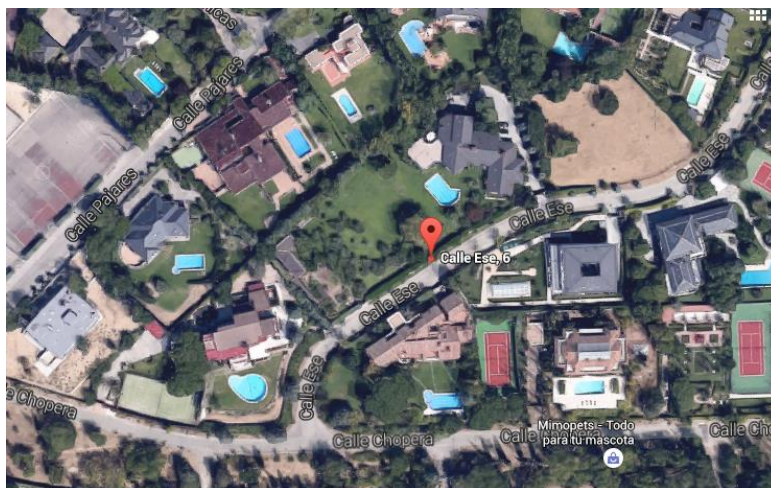


Figura 16. Emplazamiento dónde se situará la vivienda [Google Maps. Octubre 2015]

$$N = 40^{\circ} 25' 35,9'' = 40,426800$$

$$W = 3^{\circ} 48' 6,7'' = -3.801838$$

Como vemos en la figura 17 obtenida de la Sede Electrónica del Catastro, la parcela se encuentra disponible para poder realizar nuestra obra sin inconvenientes, ni de ocupación ni de espacio, puesto que se trata de una parcela de 3.000m<sup>2</sup>. Como no tenemos limitación de espacio, la vivienda se orientará con su fachada principal orientada hacia el sur, es decir, tendrá las caras orientadas al Norte, Sur, Este y Oeste. Y puesto que se trata de una vivienda unifamiliar, ninguna de sus caras se encontrará en contacto con viviendas adyacentes.

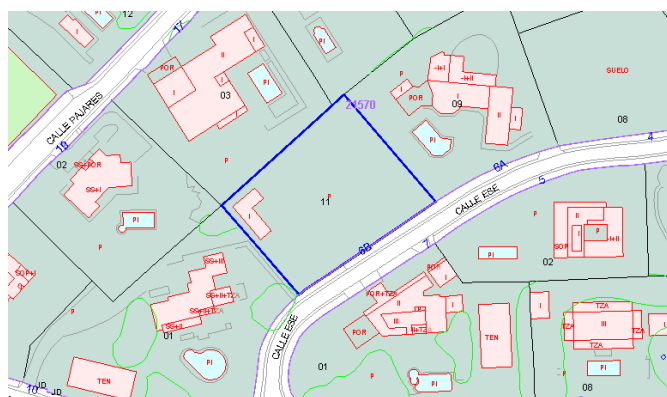


Figura 17. Parcela edificable dónde se situará la vivienda  
[<https://www1.sedecatastro.gob.es/OVCFrames.aspx?TIPO=consulta>. Octubre 2015]Estratigrafía

Se trata de una parcela urbana situada dentro del casco urbano la localidad de Pozuelo de Alarcón, por tanto, no pertenece a ningún espacio protegido ni se encuentra situado sobre ninguna estructura u obra tales como túneles, vías de agua, etc.

Uno de los aspectos más importantes a la hora de realizar una instalación geotérmica es el conocer bien el terreno sobre el que se va a efectuar dicha obra. Esto tiene que ver por lo que ya se ha comentado, el conocimiento de posibles acuíferos, espacios protegidos, etc. que se podrían ver afectados de forma negativa y también por conocer el tipo de terreno en el que vamos a enterrar nuestros colectores, ya que conociendo el terreno y sus propiedad podremos saber cuánto y cómo sea transmitido mediante él. Es por ello que realizaremos un estudio del



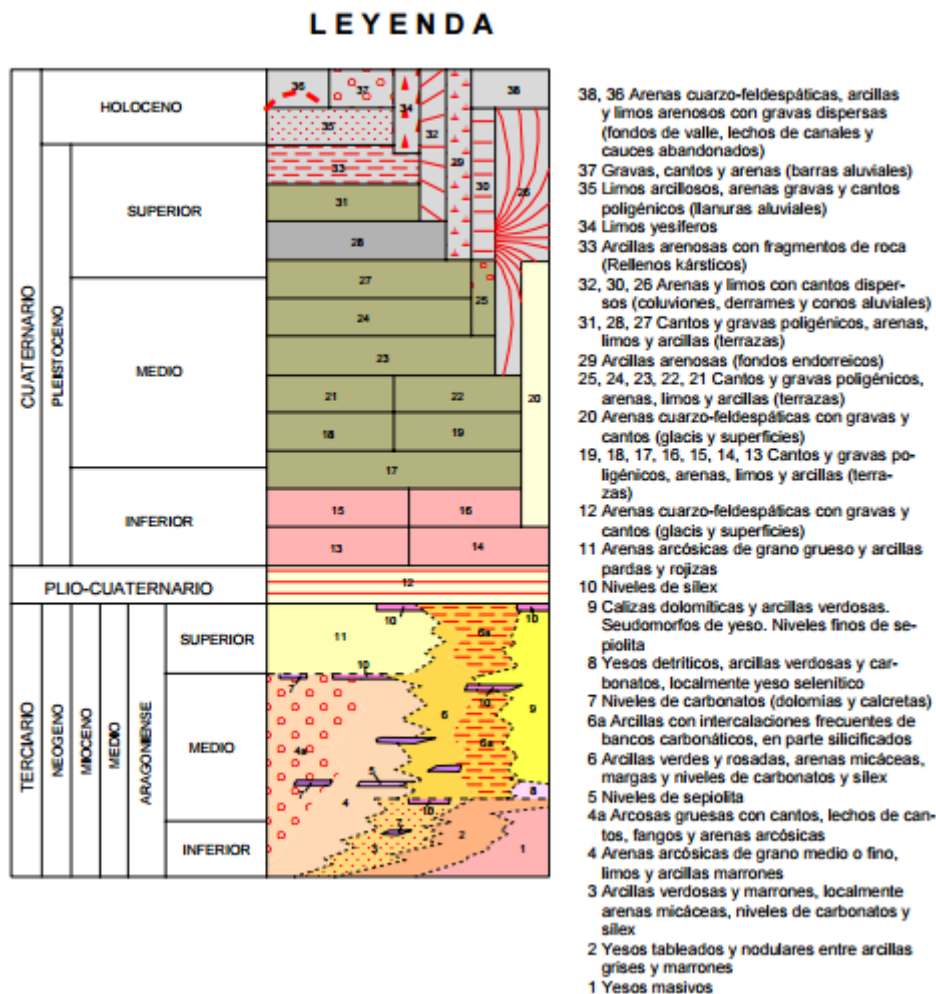


Figura 19. Leyenda de la estratigrafía del terreno [http://info.igme.es/cartografia/magna50.asp?hoja=559&bis. Noviembre 2015]

Como se puede observar en la leyenda que se adjunta (figura 19) a continuación del detalle de la hoja 559 sobre nuestro municipio, la capa terrestre en la que embutiremos nuestros intercambiadores está clasificada en el número 4<sup>a</sup>, perteneciente al conjunto litográfico Terciario. Como bien refleja la leyenda, en este nivel los sedimentos que nos encontramos son del tipo arcosas gruesas con cantos, lechos de cantos, fangos y arenas arcóscas, es decir, granos de gran tamaño formados por algo menos del 90% de cuarzo y más feldespato que fragmentos de roca; y pequeñas cantidades de lodos. [14]

## 5.2 Descripción de la vivienda

La construcción a edificar consiste en una vivienda unifamiliar de dos plantas, un pequeño porche y una zona ajardinada. En los planos 1 y 2 que se adjuntan en el apartado Planos, se pueden observar la planta de cada uno de los pisos así como su superficie.

La altura de cada planta será de 3,30 m que junto a los 48 cm de la cubierta y los 32cm del forjado interior hacen que la altura final de nuestra vivienda sea de 7,40m.

Su distribución en planta y las superficies de cada uno de los locales de estudio son las siguientes:

<b>PLANTA BAJA</b>			
<b>Local</b>	<b>Superficie útil(m<sup>2</sup>)</b>	<b>Altura libre (m)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>
<b>Cocina (CO)</b>	29,54	3,3	97,48
<b>Salón (S)</b>	43,2	3,3	142,56
<b>Dormitorio 1 (D1)</b>	37,67	3,3	124,31
<b>Baño 1 (B1)</b>	12,6	3,3	41,58
<b>Baño 2 (B2)</b>	18,95	3,3	62,54
<b>Dormitorio 2 (D3)</b>	21,11	3,3	69,66
<b>Vestíbulo</b>	21,27	3,3	70,19
<b>Escalera</b>	2,97	3,3	9,80

<b>PLANTA ALTA</b>			
<b>Local</b>	<b>Superficie útil(m<sup>2</sup>)</b>	<b>Altura libre (m)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>
<b>Dormitorio 3 (D3)</b>	45,8	3,3	151,14
<b>Trastero</b>	15,11	3,3	49,86
<b>Dormitorio 4 (D4)</b>	26,49	3,3	87,42
<b>Baño 3 (B3)</b>	16,97	3,3	56,00
<b>Dormitorio 5 (D5)</b>	25,3	3,3	83,49
<b>Baño 4 (B4)</b>	6,3	3,3	20,79
<b>Sala de Juegos (SJ)</b>	31,55	3,3	104,12
<b>Vestíbulo</b>	16,91	3,3	55,80
<b>Escalera</b>	2,97	3,3	9,80

Tabla 6. Dimensiones de los distintos espacios [Hoja de cálculo propia]

### 5.2.1 Condiciones de diseño

Las condiciones interiores de diseño tanto para la temperatura operativa como para la humedad relativa, vienen recogidas en la instrucción técnica IT 1.1.4.1.2 del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), en función de la actividad metabólica de las personas y el grado de vestimenta, para los cuales existen unos valores medios en función de cada estación.

Los valores de la temperatura operativa y la humedad relativa con los que trabajaremos están comprendidos en los límites de la siguiente tabla:

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

Tabla 7. Condiciones interiores de diseño [tabla 1.4.1.1 RITE]

Para nuestro proyecto las condiciones escogidas son las siguientes:

- **Verano:** Temperatura operativa de 24 °C y humedad relativa del 50%.
- **Invierno:** Temperatura operativa de 22 °C y humedad relativa del 50%.

## 5.2.2 Condiciones exteriores de cálculo

Para las condiciones exteriores de cálculo se ha tomado como referencia los valores de la estación meteorológica de Aeropuerto de Madrid. Para el caso de la temperatura, se ha ponderado teniendo en cuenta que ésta desciende 6,5°C/km.

### 5.2.2.1 Condiciones para verano para un nivel de percentil de 1 %

- Temperatura de bulbo seco: 34,45 °C
- Temperatura de bulbo húmedo: 18,25 °C
- OMD: 17,95 °C
- Temperatura del terreno: 29,8 °C

### 5.2.2.2 Condiciones para invierno para un nivel de percentil del 99%:

- Temperatura de bulbo seco: -3,15 °C
- Humedad absoluta exterior: 84%
- Temperatura del terreno: 5,88 °C

### 5.2.2.3 Otros parámetros

- Término municipal: Pozuelo de Alarcón, Madrid
- Altitud sobre el nivel del mar: 698
- Velocidad del viento: 4,8 m/s
- Temperatura en invierno en local no calefactado: 12,58 °C
- Temperatura en verano en local no refrigerado: 29,53 °C
- Temperatura seca media anual: 14,9 °C
- Coeficiente de orientación N para radiación: 0,6
- Coeficiente de orientación S para radiación: 1
- Coeficiente de orientación E para radiación: 0,8
- Coeficiente de orientación O para radiación: 0,9

## 6 CARGAS TÉRMICAS DEL EDIFICIO

El objetivo de este punto es presentar todos aquellos aspectos que nos influirán de forma directa en el balance energético de nuestra vivienda. Una vez tengamos claro estos conceptos pasaremos a explicar de manera concisa la forma por la cual llegaremos a obtener el valor final de dichas cargas, separando las cargas existentes en verano de las existentes en invierno.

### 6.1 Características de uso

En este punto describiremos aquellas características de uso que intervendrán en nuestros cálculos de las cargas y arrojaremos los resultados finales de cada una de ellas.

#### 6.1.1 Ocupación

A la hora de hacer los cálculos de las cargas térmicas, un factor que resulta muy importante es el calor latente y sensible desprendido por las personas que habitan nuestras zonas de estudio.

Para ello, realizaremos la distribución de personas según cada habitación:

- Habitaciones dobles: 2 personas
- Habitaciones sencillas: no existen en este proyecto.
- Salón: 10 personas
- Cocina: 4 personas
- Sala de juegos: 6 personas

#### 6.1.2 Iluminación

Para la iluminación, todas las bombillas escogidas serán de tecnología LED, debido a su bajo consumo y su larga vida útil. De esta forma, la potencia energética resultante se ha distribuido de la siguiente manera.

Local	Pot. equipo (W)	$C_{Uso}$	$Q_{silum}$ (W)
D1	15	0,125	1,875
D2	11	0,125	1,375
D3	18	0,125	2,25
D4	11	0,125	1,375
D5	11	0,125	1,375
S	80	0,2	16
SJ	25	0,15	3,75
B1	15	0,1	1,5
B2	15	0,1	1,5
B3	15	0,1	1,5
B4	11	0,1	1,1
CO	54	0,2	10,8

Tabla 8. Distribución del consumo lumínico [Hoja de cálculo propia]

### 6.1.3 Definición de la envolvente térmica del edificio y clasificación de sus componentes

La envolvente térmica del edificio está compuesta por todos los cerramientos que limitan los espacios habitables con el ambiente exterior y por todas las particiones interiores que limitan espacios habitables con los espacios no habitables que a su vez están en contacto con el ambiente exterior. Siendo los cerramientos los que se detallan a continuación: [15]

- **Cubierta:** cerramiento situado en la parte superior y en contacto directo con el aire exterior. Su inclinación debe ser inferior a 60° respecto a la horizontal.
- **Suelo:** cerramiento situado en la parte inferior. Será horizontal o con una ligera inclinación. Debe estar en contacto con el aire, terreno o algún espacio no habitable.
- **Fachada:** componen Todos aquellos cerramientos que estén en contacto directo con el aire exterior y su inclinación respecto a la horizontal sea superior a 60 °.
- **Cerramiento en contacto con el terrero:** comprenden aquellos cerramientos distintos a los anteriores que están en contacto con el terreno.
- **Particiones interiores:** comprenden elementos verticales y horizontales construidos en el interior del edificio para diferencias cada uno de los espacios existentes.

### 6.1.4 Características de los cerramientos

Se podría decir que a la hora de buscar la eficiencia energética, antes de diseñar sistemas de climatización altamente eficientes o equipos de iluminación de bajo consumo, por ejemplo, la primera necesidad que debemos atender es el aislamiento, es decir, intentar conseguir retener en el interior de la vivienda toda aquella potencia térmica que suministremos por medio de los equipos de climatización en invierno. Mientras que en verano, conseguir que al interior de nuestra vivienda se infiltre la menor cantidad de calor posible.

Es por ello que prestaremos especial atención a la hora de diseñar nuestros elementos constructivos, siempre sin perder de vista el coste de fabricación.

Con todo ello, el coeficiente de transmisión (cantidad de potencia que atraviesa los muros por metro cuadrado de superficie y grado Kelvin) de los cerramientos arroja los siguientes resultados:

Cerramiento	U (W / (m <sup>2</sup> ·K)
Cubierta	0,351
Fachada exterior	0,356
Tabique interior	2,222
Forjado interior	1,176
Forjado terreno	0,461
Ventanas	1,400
Partición interior	1,149

Tabla 9. Coeficiente de transmisión de los distintos cerramientos [Hoja de cálculo propia]

Todos los cerramientos que se construyan deben cumplir con la normativa vigente del Documento Básico de Ahorro de Energía (HE-1). Para ello, en el Anexo II se han realizado las

fichas justificativas que, como su propio nombre indica, justificarán el cumplimiento de dicha normativa y asegurarán un ahorro energético.

#### 6.1.4.1 FICHAS JUSTIFICATIVAS DE LA OPCIÓN SIMPLIFICADA

Como comentábamos anteriormente en el apartado de las características de los cerramientos, es fundamental conseguir que todos nuestros elementos constructivos cumplan unos límites de aislamiento, puesto que esto nos asegurará una alta eficiencia energética. Para ello, existen unas fichas justificativas para verificar que nuestras construcciones están dentro de los límites necesarios y obligados en el Código Técnico de Edificación. Es por eso la obligatoriedad de rellenar dichos documentos, los cuales vienen incluidos en el Anexo II "Fichas Justificativas".

### 6.2 Caudales de aire exterior

Es importante diseñar un sistema de ventilación para conseguir que el aire sea renovado periódicamente y de forma natural. Con esto se conseguirá que el aire no se carga en exceso y evitar posibles malos olores.

El caudal de aire que debe ser renovado está tabulado según Documento Básico de Salubridad, DH HS3 del Código Técnico de Edificación, y depende directamente del nivel de ocupación de la vivienda. Según este documento, los caudales de admisión no pueden superar más de un 10% los de extracción. En nuestro caso de estudio, como se podrá observar más detalladamente en el Anexo III "Cálculos", estimaremos que ambos caudales sean iguales. [16]

El caudal necesario en cada uno de los locales según la norma es el siguiente:

Local	Caudal (m <sup>3</sup> /h)
Dormitorio doble	51,1776
Salón	108
Sala de Juegos	64,8
Cocina	212,688
Baños	54

Tabla 10. Caudales de aire exterior en dm<sup>3</sup>/s por persona [Hoja de cálculo propia]

### 6.3 Obtención de las cargas térmicas

El cálculo de las cargas térmicas es fundamental a la hora de diseñar nuestra instalación, puesto que nos dará a conocer la capacidad de potencia que será aportada o extraída a la vivienda debido al propio uso (carga debida a iluminación, carga perdida/ganada por los muros, etc.). Con todo esto seremos capaces de conocer la potencia total que deberemos suministrar para conseguir las condiciones de confort deseadas.

Los cálculos detallados de las cargas térmicas se pueden encontrar en el apartado 1, "Cálculo



de las cargas térmicas” del Anexo III.

Para la realización del cálculo de las necesidades térmicas del edificio se han tenido en cuenta las siguientes partidas:

- **Cálculo de cargas para verano:**

Cargas sensibles:

- Transmisión cerramientos verticales y horizontales, interiores y exteriores
- Radiación y transmisión cerramientos exteriores
- Radiación solar de vidrios
- Ventilación
- Iluminación/Equipos
- Ocupación

Cargas latentes:

- Ventilación
- Ocupación

Para obtener dichas cargas, a continuación se anexa una tabla con las fórmulas empleadas cada una de ellas.

Tipo de carga térmica	Fórmula empleada
Transmisión cerramientos verticales y horizontales, interiores y exteriores	$Q_{tr} = U \cdot A \cdot \Delta T$
Radiación y transmisión cerramientos exteriores	$Q_{rad.cerr} = U \cdot A \cdot DTE$
Radiación solar de vidrios	$Q_{rad.vid} = A \cdot G \cdot f$
Ventilación sensible	$Q_v = \dot{V} \cdot c_p \cdot \rho \cdot \Delta T$
Iluminación/Equipos	$Q_{ilu/eq} = q \cdot n \cdot f$
Ocupación sensible	$Q_{ocu} = q \cdot n$
Ventilación latente	$Q_{vent.lat} = \dot{V} \cdot DW \cdot 0,83$
Ocupación latente	$Q_{ocu} = q \cdot n$

Tabla 11. Fórmulas empleadas para los cálculos de las cargas térmicas de refrigeración [Hoja de cálculo propia]

Siendo los resultados totales los siguientes:

Piso	Local	Pot_Total (W)
1	Baño 1	211,679
	Baño 2	326,216
	Cocina	2015,137
	Dormitorio 1	1169,688
	Dormitorio 2	1048,249
	Salón	2805,984
	Pasillo	56,810
2	Baño 3	274,596
	Baño 4	159,919
	Dormitorio 3	2054,757
	Dormitorio 4	1272,439
	Dormitorio 5	1227,713
	Sala de Juegos	1834,921
	Pasillo	62,000
	Trastero	141,073
<b>Total</b>		<b>14.661,18 W</b>

Tabla 12. Carga térmica total de refrigeración de cada habitáculo [Hoja de cálculo propia]

- **Cálculo de cargas para invierno:**

- Pérdidas por transmisión de cerramientos verticales y horizontales.
- Pérdidas por ventilación

Las ganancias por ocupación, iluminación y equipos no se han tenido en cuenta para este apartado puesto que estudiamos el caso más desfavorable y despreciamos los aportes de carga hacia el interior de la vivienda, ya que la habitabilidad de la vivienda es bastante variable.

Al igual que para el caso de las cargas térmicas para refrigeración en verano, a continuación anexaremos una tabla con las formulas empleadas para obtener los valores de las cargas térmicas en invierno:

Tipo de carga térmica	Fórmula empleada
Transmisión cerramientos verticales y horizontales, interiores y exteriores	$Q_{tr} = U \cdot A \cdot \Delta T$
Ventilación sensible	$Q_v = \dot{V} \cdot c_p \cdot \rho \cdot \Delta T$

Tabla 13. Fórmulas empleadas para los cálculos de las cargas térmicas de calefacción [Hoja de cálculo propia]

Siendo los resultados totales los siguientes:

Piso	Local	Pot_Total (W)
1	Baño 1	241,874
	Baño 2	459,626
	Cocina	967,589
	Dormitorio 1	1205,052
	Dormitorio 2	1163,599
	Salón	2411,931
	Pasillo	247,677
2	Baño 3	158,555
	Baño 4	55,595
	Dormitorio 3	1477,018
	Dormitorio 4	1128,199
	Dormitorio 5	1072,053
	Sala de Juegos	1256,962
	Pasillo	149,223
	Trastero	133,339
<b>Total</b>		<b>12.128,293 W</b>

Tabla 14. Carga térmica total de calefacción de cada habitáculo [Hoja de cálculo propia]

## 7 JUSTIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA EXIGENCIA DE CALIDAD DEL AIRE INTERIOR

La instalación se diseñará para mantener una calidad del aire interior aceptable en los locales ocupados por las personas, eliminando los contaminantes que se produzcan de forma habitual durante el uso de los mismos, aportando un caudal suficiente de aire exterior y garantizando la extracción y expulsión del aire viciado.

Para llevar a cabo este propósito, se cumplirán las exigencias del DB HS3 del CTE en lo correspondiente a viviendas. [16]

### 7.1 Caracterización y cuantificación de las exigencias

El caudal de ventilación mínimo para los locales se obtiene en la tabla 2.1 teniendo en cuenta las reglas que figuran a continuación.

El número de ocupantes se considera igual a:

- **En cada dormitorio individual:** una persona.
- **En cada dormitorio doble:** dos personas.
- **En cada comedor y en cada sala de estar:** a la suma de los contabilizados

para todos los dormitorios de la vivienda correspondiente.

- **En los locales de las viviendas destinados a varios usos:** se considera el caudal correspondiente al uso para el que resulte un caudal mayor.

		Caudal de ventilación mínimo exigido $q_v$ en l/s		
		Por ocupante	Por m <sup>2</sup> 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 <sup>(1)</sup>	50 por local <sup>(2)</sup>
	Trasteros y sus zonas comunes		0,7	
	Aparcamientos y garajes			120 por plaza
	Almacenes de residuos		10	

- <sup>(1)</sup> En las cocinas con sistema de cocción por combustión o dotadas de calderas no estancas este caudal se incrementa en 8 l/s.  
<sup>(2)</sup> Este es el caudal correspondiente a la ventilación adicional específica de la cocina (véase el párrafo 3 del apartado 3.1.1).

**Tabla 15. Caudal de ventilación mínimo para los locales [DB HS3]**

Los resultados se pueden ver en el apartado 2 “Cálculos de Ventilación” del Anexo III.

## 7.2 Diseño en viviendas

Las viviendas deben disponer de un sistema general de ventilación que puede ser híbrida o mecánica, en nuestro caso ventilación mecánica.

Para mantener la calidad del aire interior, el CTE establece una serie de condiciones que deben cumplir los sistemas de ventilación.

A continuación se muestran algunas de estas condiciones:

- el aire debe circular desde los locales secos a los húmedos, para ello los comedores, los dormitorios y las salas de estar deben disponer de aberturas de admisión; los aseos, las cocinas y los cuartos de baño deben disponer de aberturas de extracción; las particiones situadas entre los locales con admisión y los locales con extracción deben disponer de aberturas de paso.
- los locales con varios usos de los del punto anterior, deben disponer en cada zona destinada a un uso diferente de las aberturas correspondientes.
- como aberturas de admisión, se dispondrán aberturas dotadas de aireadores o aberturas fijas de la carpintería, como son los dispositivos de microventilación con una permeabilidad al aire según UNE EN 12207:2000 en la posición de apertura de clase 1 o superior; no obstante, cuando las carpinterías exteriores sean de clase 1 de permeabilidad al aire según UNE EN 12207:2000 pueden considerarse como aberturas de admisión las juntas de apertura.
- cuando la ventilación sea híbrida las aberturas de admisión deben comunicar

directamente con el exterior.

- e) los aireadores deben disponerse a una distancia del suelo mayor que 1,80 m.
- f) cuando algún local con extracción esté compartimentado, deben disponerse aberturas de paso entre los compartimentos; la abertura de extracción debe disponerse en el compartimento más contaminado que, en el caso de aseos y cuartos de baños, es aquel en el que está situado el inodoro, y en el caso de cocinas es aquel en el que está situada la zona de cocción; la abertura de paso que conecta con el resto de la vivienda debe estar situada en el local menos contaminado.
- g) las aberturas de extracción deben conectarse a conductos de extracción y deben disponerse a una distancia del techo menor que 200 mm y a una distancia de cualquier rincón o esquina vertical mayor que 100 mm.
- h) un mismo conducto de extracción puede ser compartido por aseos, baños, cocinas y trasteros.

Las cocinas deben disponer de un sistema adicional específico de ventilación con extracción mecánica para los vapores y los contaminantes de la cocción. Para ello debe disponerse un extractor conectado a un conducto de extracción independiente de los de la ventilación general de la vivienda que no puede utilizarse para la extracción de aire de locales de otro uso. Cuando este conducto sea compartido por varios extractores, cada uno de éstos debe estar dotado de una válvula automática que mantenga abierta su conexión con el conducto sólo cuando esté funcionando o de cualquier otro sistema antirrevoco. [17]

El Plano 2 refleja los locales de admisión y extracción que posee la casa.

### 7.2.1 Dimensionado de las aberturas de ventilación

El área efectiva total de las aberturas de ventilación de cada local debe ser como mínimo la mayor de las que se obtienen mediante las fórmulas que figuran en la siguiente tabla.

Para garantizar la calidad del aire interior, se establecen las dimensiones mínimas que deben tener las aberturas y conductos de los sistemas de ventilación.

Aberturas de ventilación	
Aberturas de admisión <sup>(1)</sup>	4 q <sub>v</sub> ó 4 q <sub>va</sub>
Aberturas de extracción	4 q <sub>v</sub> ó 4 q <sub>va</sub>
Aberturas de paso	70 cm <sup>2</sup> ó 8 q <sub>vp</sub>
Aberturas mixtas <sup>(2)</sup>	8 q <sub>v</sub>

(1) Cuando se trate de una abertura de admisión constituida por una apertura A/a, la dimensión que se obtenga de la tabla no podrá excederse en más de un 10%.

(2) El área efectiva total de las aberturas mixtas de cada zona opuesta de fachada y de la zona equidistante debe ser como mínimo el área total exigida.

Tabla 16. Área efectiva total de las aberturas de ventilación de cada local [Documento Básico HS Salubridad]

Obteniéndose, según este criterio y los caudales expresados anteriormente, las siguientes aberturas tanto de admisión/extracción como de paso.

Local	Caudal de aire (l/s)	Admisión/Extracción	Paso
		Sección (cm <sup>2</sup> )	Sección (cm <sup>2</sup> )
D1	14,216	56,864	113,728
D2	14,216	56,864	113,728
D3	14,216	56,864	113,728
D4	14,216	56,864	113,728
D5	14,216	56,864	113,728
S	30	120	240
SJ	18	72	144
B1	15	60	120
B2	15	60	120
B3	15	60	120
B4	15	60	120
CO	59,08	236,32	472,64

Tabla 17. Caudales de admisión o extracción y paso para cada local [Hoja de cálculo propia]

En el plano número 3 se detallan los locales de admisión y extracción así como los pasos existentes en la vivienda.

## 8 INSTALACIÓN DE ACS

El objetivo de este apartado es dimensionar la instalación de ACS según establece el Código Técnico de la Edificación en el Documento Básico de Salubridad, desde la potencia térmica que deberemos suministrar desde nuestra bomba de calor hasta los elementos que conformen dicha instalación: dimensionado de las tuberías, acumulador, depósito de inercia y bomba de circulación. Los valores aquí presentados han sido detallados en el apartado 2 del Anexo III.

### 8.1 Caudal de ACS

Para comenzar a diseñar la instalación es necesario conocer el caudal que discurrirá por ella, que depende directamente de la cantidad de aparatos que tengamos distribuidos por toda la vivienda. El consumo de cada uno de los aparatos viene establecido en el citado Documento Básico. Multiplicando el número de aparatos por el consumo de cada uno obtenemos un caudal total de **1,265 l/s**. [16]

## 8.2 Dimensionado de las redes de distribución

Para dimensionar la instalación primeramente se recomienda utilizar un caudal que tenga en cuenta unos coeficientes de simultaneidad, ya que no se estima que se vayan a utilizar todos los aparatos a la vez. Para ellos nos basamos en un tabla extraída de la “Guía Técnica de Agua Caliente Sanitaria Central “, la cual nos arroja unos valores de simultaneidad y una expresión en función del caudal que tengamos. [18]

Con todo esto, nuestro caudal final con el que trabajaremos es de **1,082 l/s**.

Este dato lo emplearemos de forma directa para obtener el diámetro de la tubería, que como se puede ver detalladamente en el Anexo III, apartado 2 “Producción de ACS”, será de 26,2mm, por lo que tomaremos el diámetro normalizado inmediatamente superior, el de **32 mm**.

Para obtener la longitud total del circuito basta con medir sobre plano y obtenemos una longitud total de la instalación de **17,5 m**, la cual se puede observar cómo se distribuye a lo largo de la vivienda en el plano 6.

## 8.3 Pérdidas de carga

Las pérdidas de carga en el interior de una tubería es la pérdida de presión que se produce en el fluido debido a la fricción de sus partículas contra las paredes del tubo o entre sí. Dichas pérdidas dependen de forma directa del tipo de fluido, la velocidad del mismo y de las propiedades del tubo.

Es necesario conocer las pérdidas de carga de la instalación para seleccionar una bomba que sea capaz de impulsar el agua hasta cualquier punto de la instalación.

Los procesos de cálculo se detallan en el punto 2.3 del Anexo III. En él podemos observar como las pérdidas finales de nuestra instalación equivalen a **7,34 m**.

## 8.4 Selección de la bomba de circulación.

Una vez conocidos los distintos parámetros de la instalación en general, y en particular el valor de la pérdida de carga, ya que es juntamente con el caudal el que nos va a marcar la bomba a elegir, podremos buscar en los distintos proveedores aquella que se ajuste a nuestras exigencias.

Siendo el caudal de 3,89 m<sup>3</sup>/h y la altura de 7,34 m, bomba que más se ajusta a nuestro criterio es la bomba **Wilo-Stratos-Z 40/1-8**. [19]

## 8.5 Volumen del depósito de acumulación.

El uso del acumulador está más que recomendado ya que nos da la posibilidad de utilizar el ACS en el momento en el que necesitemos, y no ir calentándolo bajo demanda, lo que sería

mucho más costoso.

El volumen del mismo dependerá de la demanda que tenga nuestra vivienda en función del número de habitantes, lo que está tabulado en el Documento Básico de Ahorro Energético. [15]

Acudiendo al citado documento obtenemos una demanda de **210 l/día**. El acumulador no lo diseñaremos para que cubra el 100% de la instalación, ya que es poco probable que se consuma todo de golpe, por lo que instalemos un **acumulador de acero inoxidable de 150 l** de la marca Baxi. [20]

## 8.6 Vaso de expansión

El vaso de expansión es un elemento utilizado en la mayoría de los circuitos de calefacción y su objetivo es absorber el aumento de presión que se produce en el fluido caloportador cuando se calienta y se expande y devolverla cuando éste se enfría.

Para dimensionar este elemento hemos de conocer el caudal total que recorrerá la instalación así como las presiones tanto manométrica como de la válvula de seguridad, además del coeficiente de expansión del fluido.

Entrando en la fórmula que aparece en el Anexo III, nos indica que **no es necesario que incluyamos en nuestra instalación un vaso de expansión**.

## 8.7 Potencia ACS

La potencia necesaria para alcanzar la temperatura de consumo es un dato necesario a la hora de seleccionar la bomba geotérmica, ya que será ella también la encargada de suministrárnosla.

El cálculo de dicho valor viene desarrollado en el punto 2.6 del Anexo III de Cálculos.

Como se puede observar, depende directamente del volumen de demanda, volumen del acumulador y de las temperaturas de entrada y salida del agua, además de un factor de uso del acumulador debido a que el mismo tiene un pequeño depósito para mezclar el agua fría con la caliente y que al no alcanzar la temperatura de consumo (60°C) no podrá emplearse. [18]

Indicar que uno de los motivos por los cuales se eleva la temperatura de consumo hasta los 60°C es debido a que con este proceso se previene la legionelosis.

Siendo la temperatura del agua de red en Madrid igual a 8°C, y la temperatura del agua acumulada de 70°C, la potencia total para cubrir la demanda será igual a **3,476 kW**. [21]

# 9 INSTALACIÓN GEOTÉRMICA

## 9.1 Objetivo

El objetivo de este apartado será el de definir nuestra instalación completa de geotermia.



Definiremos los tipos de perforaciones así como la solución escogida, además de los cálculos necesarios. De igual forma definiremos todos los materiales utilizados para su implementación. [13]

Para ello partiremos de los datos que ya han sido justificados anteriormente, como son:

- Fluido caloportador
- Configuración de los tubos
- Selección de los tubos
- 

## 9.2 Diseño del intercambiador geotérmico

En este apartado trataremos de describir la forma de proceder al cálculo así como su descripción y/o funcionamiento de todos aquellos parámetros que conformen nuestro intercambiador geotérmico.

### 9.2.1 Elección de la bomba de calor.

Para la elección de la bomba nos basaremos sobre todo en los siguientes parámetros:

- Potencia nominal
- COP
- Capacidad de invertir el ciclo, es decir, capaz de funcionar en modo calefacción y refrigeración.

De todos estos criterios, el único que es fundamental es el de la potencia nominal, ya que es imprescindible que nuestra bomba sea capaz de suministrar toda la potencia requerida en cualquier época del año, es por ello que han sido calculadas con anterioridad las cargas térmicas y definidas las condiciones de diseño, además de obtenido la potencia necesaria para abastecer el consumo de ACS.

La potencia debido a las cargas térmicas asciende a 12,128 kW, mientras que la potencia de ACS, como acabamos de ver, es igual a 3,476 kW. Es decir, necesitamos una bomba geotérmica que sea capaz de suministrarnos **15,6 kW**.

En función de todo esto, la bomba de calor que más se ajusta a nuestro criterio es la bomba "**Logatherm WPS 16R**" del fabricante Buderus. [22] Dicha bomba nos permite trabajar con el ciclo invertido, es decir, tanto para calefacción como para refrigeración. Sus propiedades vienen indicadas en la tabla 18 que se adjunta a continuación:

Logatherm WPS		WPS 9 RM	WPS 12 RM	WPS 16 R	WPS 20 R	WPS 23 R	WPS 33 R
Potencia calorífica (W10/W35)	<sup>1</sup> ▶ kW	9,2	11,7	16,0	19,8	23,0	33,3
Potencia absorbida	<sup>1</sup> ▶ kW	2,3	2,8	3,5	4,4	4,9	7,3
COP	<sup>1</sup>	3,92	4,18	4,57	4,50	4,69	4,56
Potencia calorífica (W10/W45)	<sup>2</sup> ▶ kW	9,0	11,3	15,3	18,8	21,9	32
Potencia absorbida	<sup>2</sup> ▶ kW	3,0	3,6	4,4	5,6	6,2	9
COP	<sup>2</sup>	3,00	3,14	3,48	3,36	3,53	3,56
Potencia frigorífica (W30/W18)	<sup>3</sup> ▶ kW	11,7	14,8	20,9	26,3	30,1	43,9
Potencia absorbida	<sup>3</sup> ▶ kW	2,6	3,3	4,2	5,4	6,1	8,9
EER	<sup>3</sup>	4,50	4,48	4,98	4,96	4,93	4,93
Potencia frigorífica (W30/W7)	<sup>4</sup> ▶ kW	8,7	11	15,4	19,5	22,5	32,7
Potencia absorbida	<sup>4</sup> ▶ kW	2,6	3,2	4,1	5,1	5,8	8,4
EER *	<sup>4</sup>	3,35	3,44	3,76	3,82	3,88	3,85
Caudal de agua lado instalación	<sup>1</sup> ▶ m³/h	1,6	2,0	2,8	3,4	4,0	5,8
Contenido mínimo de agua en la instalación	▶ l	44	56	80	100	115	170
Presión disponible residual lado instalación	<sup>1</sup> ▶ Kpa	95	92	84	158	150	163
Caudal de agua lado agua sanitaria	<sup>1</sup> ▶ m³/h	2,20	2,80	3,90	4,80	5,70	8,20
Presión disponible residual lado agua sanitaria	<sup>1</sup> ▶ Kpa	76	142	119	174	149	213
Conexiones hidráulicas		3/4"	1" 1/4	1" 1/4	1" 1/4	1" 1/4	1" 1/4
Válvula seguridad lado instalación	▶ bar	6					
Vaso de expansión	▶ l	2		8			
Tipo de compresor		SCROLL					
Número de compresores	▶ n°	1					
Número de circuitos frig.	▶ n°	1					
Refrigerante R410A	▶ kg	1,24	1,55	1,7	2,65	3,1	3,7
Aceite Mobil EAL ARTIC22cc	▶ kg	1,25	1,24	1,89	2,51	3,25	3,25
Tipo bomba lado instalación		circuladora		centrífuga			
Tipo bomba lado fuente		circuladora		centrífuga			
Alimentación eléctrica	▶ V/Ph/Hz	230V-50Hz		400V-3N-50Hz			
Potencia sonora	<sup>5</sup> ▶ dB(A)	59	63	63	63	63	64
Presión sonora	<sup>6</sup> ▶ dB(A)	45	49	49	49	49	49
Peso en funcionamiento	▶ kg	152	160	175	220	230	250

Nota:  
 (1) Funcionamiento en calefacción: Temperatura agua instalación entrante 30 °C y saliente 35 °C, temperatura agua fuente entrante a 0 °C y saliente a -3 °C.  
 (2) Funcionamiento en recuperación: Temperatura agua instalación entrante 40 °C y saliente 50 °C, temperatura agua fuente entrante a 0 °C y saliente a -3 °C.  
 (3) Funcionamiento en refrigeración: Temperatura agua instalación entrante 23 °C y saliente 18 °C, temperatura agua fuente entrante a 30 °C y saliente a 35 °C.  
 (4) Funcionamiento en refrigeración: Temperatura agua instalación entrante 12 °C y saliente 7 °C, temperatura agua fuente entrante a 30 °C y saliente a 35 °C.  
 (5) Potencia sonora referida a mediciones realizadas de acuerdo con las normas ISO 9614 y European B1.  
 (6) Presión sonora referida a 1 m de distancia de la superficie exterior de la unidad, funcionando en campo abierto.

Tabla 18. Tabla de propiedades de la bomba geotérmica elegida [www.buderus.es. Enero 2016]

### 9.2.2 Comprobación velocidad mínima

El valor de la velocidad mínima a la que debe circular el fluido a través de los tubos será aquella que asegure un régimen turbulento del mismo, puesto que en dicho régimen se favorece la transferencia de calor entre el fluido y las paredes del tubo. De igual forma, los tubos no son lisos como hemos visto anteriormente sino que tienen cierta rugosidad, ya que mejoran la turbulencia del fluido, como se muestra en la siguiente imagen.

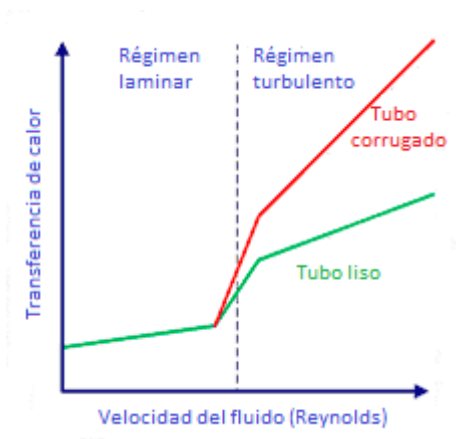


Figura 20. Transferencia de calor en función de la velocidad del fluido [www.upv.es]

Un fluido se considera que se rige en régimen turbulento cuando su Reynolds es superior a 2300.

Será a partir de este valor, del que establezcamos nuestro caudal mínimo, el cual incrementaremos en un 10% para asegurarnos la turbulencia en todo momento, incluso ante posibles pérdidas a través de la instalación.

Finalmente, como se observa detalladamente en el Anexo III, nuestro **caudal** que circulará a través de nuestras sondas será de **5,572 l/s**.

### 9.2.3 Temperaturas que intervienen en el proceso.

La variación de temperaturas que produzca nuestra transferencia de calor será aquella que exista entre la masa del fluido caloportador y el propio terreno, por eso que es un requisito fundamental conocer dichos valores.

#### 9.2.3.1 Temperaturas máximas y mínima del terreno

Lo que determinará el gasto energético que produzca nuestra instalación será el salto térmico existente entre el terreno y el fluido caloportador. Es decir, cuanto menor sea éste salto, menor será el consumo que tenga nuestra instalación.

Al tratarse de una instalación vertical, la temperatura del terreno se supone constante durante todo el año, e igual a la temperatura seca media anual.

Por lo que la **temperatura del terreno** será igual a **14,9 °C**.

#### 9.2.3.2 Temperaturas máximas y mínimas de entrada del fluido a la bomba de calor

Para seleccionar la temperatura del fluido que circula por el intercambiador tendremos que sopesar entre las siguientes conjeturas.

- Cuanto más baja sea la temperatura en invierno (más alta en verano), mayor será la diferencia con la temperatura del suelo, y menor tendrá que ser el intercambiador enterrado para el mismo intercambio de calor, por lo que los costes de inversión serán menores.

- Cuanto más alta sea la temperatura en invierno (más baja en verano), mayor será el COP del sistema, por lo que el ahorro energético será mayor.

Para nuestro sistema, en este caso tomaremos la primera medida, para minimizar costes.

Nuestra bomba de calor trabaja con temperaturas en el evaporador en invierno de entre 7 y 12 °C, mientras que el condensador trabaja, en verano, con temperaturas de entre 30 y 35 °C.

Según la opción de diseño seleccionada, nuestras temperaturas para el cálculo son 7 °C y 35 °C

Finalmente, obtenemos un valor para la  $T_{\text{salida},f}$  de **6,104 °C** y de **36,397 °C** para la  $T_{\text{salida},c}$ .

Una vez conocidos estos valores podremos definir nuestras temperaturas máximas y mínimas, siendo la  $T_{\text{máx}}$  la media entre la temperatura de entrada y salida en modo frío y  $T_{\text{mín}}$  la media



entre la temperatura de entrada y salida en modo calor.

Es decir, nuestra **temperatura máxima** será igual a **35,698 °C** y la **temperatura mínima** a **6,552 °C**.

#### 9.2.4 Resistencia de los tubos al flujo de calor

Se trata de la oposición que ofrecen las paredes del tubo a la al paso de calor a través de ellos.

Esto sólo depende de las propiedades del material del tubo y sus dimensiones.

El valor de la **resistencia de los tubos** es igual a **0,04 K·m/W**.

#### 9.2.5 Resistencia del terreno

Uno de los aspectos más delicados a la hora del diseño de nuestro intercambiador geotérmico, seguramente sea el cálculo de la resistencia térmica de éstos. Éste parámetro depende directamente del tipo de tubería, configuración del intercambiador, factor de uso y el tipo del suelo en el que se encuentre enterrado.

La resistencia de la tierra ( $R_s$ ) es la inversa de la conductividad térmica del terreno.

Como ya hemos visto en el punto 3.4 Estratigrafía del terreno, sabemos que nuestro subsuelo está compuesto por arcosas, fangos y arenas arcósicas principalmente.

Según la tabla 19, podemos conocer la conductividad térmica de nuestro terreno.

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

Tabla 19. Propiedades del terreno a perforar [Guía Técnica “Diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado”. MINETUR-IDAIE]

Siendo para nuestro caso de estudio de 1,7 W/(m·K).

Por lo que según este valor, y a partir de nuestra expresión, obtenemos el valor de la resistencia térmica del terreno, **0,588 K·m/W**.

#### 9.2.5.1 Factor de utilización

Además de la potencia de la bomba de calor, a la hora de realizar el diseño de los sistemas geotérmicos es imprescindible conocer la demanda energética del edificio, tal y como hemos calculado anteriormente.

Por seguridad, las instalaciones siempre se sobredimensionan levemente para tener cubiertas las necesidades, en este caso de climatización, en todo momento. Es por ello que la bomba de calor siempre va a estar funcionando intermitentemente.

Este aspecto influye en la resistencia térmica del suelo ( $R_s$ ) debido a que para el cálculo dicha resistencia tiene que conocer la cantidad total de calor que llega a inyectarse o extraerse

durante un ciclo de climatización (bien sea de refrigeración o de calefacción).

La fracción de tiempo que está en marcha la bomba de calor, que se multiplicará por la resistencia térmica del suelo, a esta fracción se le llama factor de utilización (F) y es el cociente entre la demanda térmica del edificio durante una estación (calefacción o refrigeración) dividido por la potencia de la bomba de calor.

Para calcular este parámetro adimensional, asumiremos que la carga térmica del edificio sigue una función lineal en función de la temperatura exterior. Para ello, y poder obtener dichas rectas necesitamos dos puntos para cada ciclo.

A lo que el cálculo de las cargas máximas se refiere, recordamos que éstas fueron de 18,96KW para una temperatura de proyecto de -3,15 °C en el caso de calefacción, y de 18,62KW con una temperatura de proyecto de 34,45°C para el caso de refrigeración.

Por otro lado, asumiremos que el sistema de calefacción sólo será demandado para temperaturas exteriores superiores a 21°C, mientras que para refrigeración siempre y cuando la temperatura no supere los 16°C. Siendo la carga térmica, fuera de estos rangos, igual a cero.

Por lo tanto, nuestros puntos serán los siguientes:

	Tª (°C)	Carga térmica (KW)
Refrigeración	21	0
	34,45	15,4
Calefacción	16	0
	-3,7	16

Tabla 20. Temperaturas para máximas y mínimas cargas térmicas según el modo de funcionamiento del sistema [Hoja de cálculo propia]

A partir de esta tabla de valores, obtendremos la siguiente gráfica que regirá nuestro sistema.

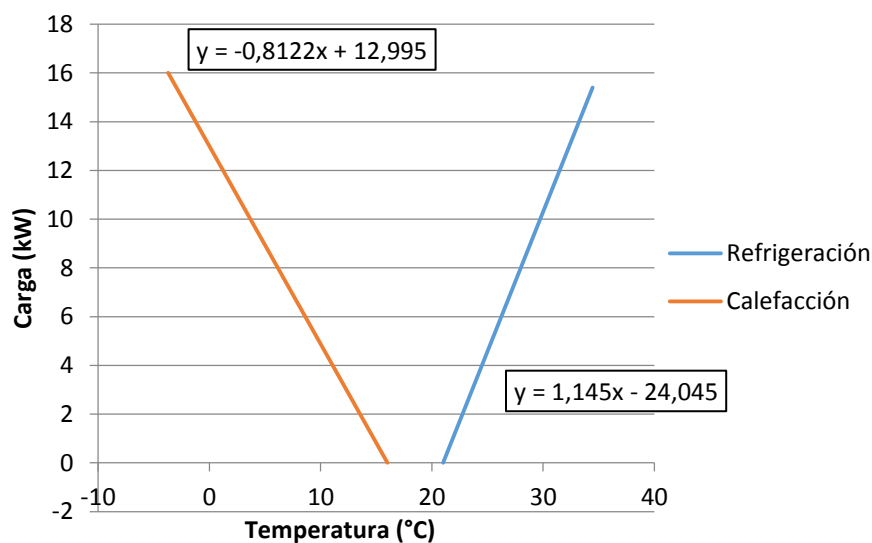


Figura 21. Variación de la temperatura en función de la carga térmica [Hoja de cálculo propia]

Decir que se ha estimado el uso de la calefacción para los meses de diciembre, enero y febrero (2160 horas en total) y los meses de junio, julio, agosto y septiembre (2928 horas) para el uso de refrigeración.

A partir de todo lo anteriormente mencionado y teniendo en cuenta el rendimiento de la bomba de calor para cada intervalo de temperatura, obtenemos un valor de **0,3388** para el sistema de **refrigeración**, y de **0,4018** para **calefacción**.

### 9.2.6 Longitud del intercambiador

Con todos los parámetros calculados, sólo queda calcular la longitud final del intercambiador de calor, que luego distribuiremos en varias sondas según estimemos.

La longitud final será aquella que sea capaz de soportar tanto la carga térmica de calefacción como de refrigeración, en este caso será la longitud para calefacción, ya que resultan 413,95 metros frente a los 224,39 metros del intercambiador de refrigeración, como se puede apreciar de manera desglosada en la sección correspondiente del Anexo III.

Teniendo en cuenta esto tenemos dos posibilidades:

- 1) Realizar dos perforaciones de 103,5m cada una
- 2) Realizar tres perforaciones de 69m cada una

Ante esta situación, nos vemos obligados a hacernos las siguientes preguntas,

- ¿Qué opción resulta más económica, realizar dos perforaciones con mayor profundidad o tres perforaciones menor profundidad?
- ¿Qué opción resulta más cómoda a la hora de desarrollar todos los trabajos necesarios para la ejecución total del proyecto?

La respuesta a ambas preguntas es la opción 2, ya que a mayor profundidad de las perforaciones, éstas resultan mucho más dificultosas y con un coste mayor. Además, a partir de los 10m la temperatura es constante prácticamente, por lo que el hecho de profundizar más con nuestras perforaciones no nos produciría prácticamente ningún tipo de mejora en nuestra eficiencia energética.

Podemos concluir el apartado haciendo un resumen de nuestra instalación geotérmica.

**3 perforaciones de 69 m y sondas tipo U-Simple PE100 DN40 SDR 17 PN10 equidistantes 8m.**

## 10 INSTALACIÓN DE SUELO RADIANTE

### 10.1 Objetivo

En este apartado definiremos todos los elementos necesarios que nuestra instalación funcione correctamente, todo ello debidamente justificado, pudiendo verse en más detalle en el punto 4 del Anexo III.

En este tipo de instalaciones toda decisión de diseño influye en el ahorro final, por lo que buscaremos el diseño que haga máximo este aspecto. [8]

## 10.2 Diseño de la instalación

En este apartado trataremos de describir la forma de proceder al cálculo así como su descripción y/o funcionamiento de todos aquellos parámetros que conformen nuestra instalación de suelo radiante/refrescante. [8]

El resultado final de la distribución de los circuitos se puede observar de manera gráfica en el plano 5 que aparece en el apartado “Planos”.

### 10.2.1 Longitud de los circuitos

Para comenzar con el diseño de la instalación, hay que recordar que la configuración escogida para su distribución a través de toda la superficie es la configuración en espiral.

El diámetro de los tubos, como en prácticamente la totalidad de las viviendas equivale a 16x1,8 y un paso entre tubos de 10 y 15 cm, según nos refiramos al baño o al resto de habitaciones respectivamente.

Una vez tenidos en cuenta todos estos datos de partida, procederemos a calcular el número de circuitos necesarios para tener nuestras habitaciones climatizadas de forma independiente, quedando siempre cubierta toda la demanda tanto de calefacción como de refrigeración.

Para que los circuitos funcionen de forma óptima y no tengan un exceso de pérdidas de carga, lo recomendable será que los circuitos tengan una longitud aproximada de 100 metros.

El número de circuitos dependerá del área a climatizar, la distancia entre tubos y la longitud desde el colector hasta el recinto.

Con todo esto, el número de circuitos por recinto queda de la siguiente manera:

Piso	Recinto	Nº circuitos
1	Baño 1	2
	Baño 2	2
	Cocina	2
	Dormitorio 1	3
	Dormitorio 2	2
	Salón	3
2	Baño 3	2
	Baño 4	1
	Dormitorio 3	3
	Dormitorio 4	2
	Dormitorio 5	2
	Sala de Juegos	2
<b>Total</b>		<b>26</b>

Tabla 21. Circuitos necesarios por cada local [Hoja de cálculo propia]



La cantidad de circuitos que abarca cada caja de colectores depende del fabricante, aunque la mayoría de ellas tienen una capacidad máxima de 12 circuitos.

En nuestro caso trabajaremos con la marca Uponor, que tiene las siguientes cajas de colectores:

- De 2 a 4 salidas
- De 5 a 7 salidas
- De 8 a 10 salidas
- De 10 a 12 salidas



Figura 22. Caja de colectores [www.uponor.es. Marzo 2016]

Nuestra distribución de circuitos por caja de colectores quedará así:

Piso	Recinto	Circuito	Superficie (m <sup>2</sup> )	Longitud de cada circuito (m)
1	Baño 1	C.1.1	6,30	69,000
		C.1.2	6,30	69,000
	Baño 2	C.1.3	9,48	96,750
		C.1.4	9,48	96,750
	Cocina	C.1.5	14,77	104,467
		C.1.6	14,77	104,467
	Dormitorio 1	C.2.1	12,56	86,378
		C.2.2	12,56	86,378
		C.2.3	12,56	86,378
	Dormitorio 2	C.2.4	10,56	76,367
		C.2.5	10,56	76,367
	Salón	C.2.6	14,40	100,000
C.2.7		14,40	100,000	
C.2.8		14,40	100,000	
2	Baño 3	C.3.1	8,49	113,133
		C.3.2	8,49	113,133
	Baño 4	C.3.3	6,30	53,300
	Dormitorio 3	C.3.4	15,27	104,444
		C.3.5	15,27	104,444
		C.3.6	15,27	104,444
	Dormitorio 4	C.3.7	13,25	91,300
		C.3.8	13,25	91,300
	Dormitorio 5	C.3.9	12,65	86,833
		C.3.10	12,65	86,833
	Sala de Juegos	C.3.11	15,78	111,667
		C.3.12	15,78	111,667

Tabla 22. Superficie y longitud de cada circuito [Hoja de cálculo propia]

La nomenclatura de los circuitos (C.X.Y) corresponde a la siguiente forma:

- C significa caja de colectores, llamada también colector.
- X es el número de colector.
- Y es el número de circuito dentro de cada colector.

### 10.2.2 Temperatura del suelo

Se trata de la temperatura que alcanzará el suelo al tratarse de la superficie emisora del flujo de calor. La temperatura media de la superficie del suelo depende tanto de la temperatura de diseño, como de la carga térmica a cubrir.

Según la Norma UNE EN 1264 establece que la temperatura superficial máxima del suelo no debe superar los 29 °C para asegurar que no resulte desagradable. Por otro lado, y por los mismos motivos, para el caso de refrigeración, ésta no debe descender de los 19 °C.

Las temperaturas del suelo vendrán dadas por las máximas en cada sistema, por lo que tenemos para el sistema de **calefacción 26,294 °C** y para el sistema de **refrigeración 19,004 °C**.

Observamos que en ambos caso nos encontramos dentro de los parámetros fijados por la norma anteriormente citada.

#### 10.2.2.1 Temperatura de rocío

Cuando el sistema trabaje en modo refrigeración, existe el problema de la condensación del vapor de agua del aire sobre el pavimento, por lo que la temperatura de éste no debe ser nunca menor del punto de rocío del agua.

El punto de rocío ( $t_d$ ) es la temperatura que debe alcanzar una masa de aire para que se produzca el fenómeno de condensación del vapor de agua contenido en dicha masa de aire y sin producir variaciones en la cantidad de vapor de agua existente.

Como justificaremos más adelante, el **punto de rocío** se encuentra a los **12,93 °C**.

Como podemos observar, el suelo refrescante va a ser el que nos limite más a la hora del cálculo, ya que existe mayor número de restricciones que para el caso contrario:

- Punto de rocío
- Temperatura según Norma UNE EN 1264

#### 10.2.3 Temperatura de impulsión

La temperatura de impulsión es la temperatura que deberá alcanzar nuestro fluido (agua) para ser capaz de transferir o captar la cantidad de calor necesario para alcanzar la temperatura de diseño en todo momento.

El salto térmico para sistemas de suelo radiante solamente, se establece en 10°C, sin embargo, para el caso de suelo radiante/refrescante, que es nuestro caso, la temperatura de retorno será 7°C inferior a la de impulsión para calefacción y 5°C superior a la de impulsión para refrigeración, siguiendo las indicaciones de nuestro fabricante.

Para obtener la temperatura de impulsión seguiremos la norma UNE-EN 1264. Dicha temperatura deberá ser calculada tanto para calefacción como para refrigeración. [23]

Esta temperatura dependerá sobre todo de las propiedades térmicas de nuestro pavimento, así como de algunos parámetros de diseño de nuestra instalación, como lo son el diámetro de los tubos y la separación entre ellos principalmente.

Respecto a la temperatura de impulsión para el sistema de suelo radiante la temperatura debe estar comprendida entre 30°C y 45 °C.

En cuanto al sistema de suelo refrescante, como ya hemos visto, es fundamental para asegurar el buen funcionamiento del sistema, que la temperatura de impulsión no descienda de la temperatura de rocío.

Las temperaturas quedan de la siguiente manera:

Sistema	Temperatura impulsión (°C)	Temperatura retorno (°C)
Calefacción	40,267	33,267
Refrigeración	14,186	19,186

Tabla 23. Temperaturas de impulsión y retorno obtenidas [Hoja de cálculo propia]

#### 10.2.4 Caudal de agua por circuito

El caudal será el que determine el calor transferido a una superficie, en función del salto térmico, el flujo térmico y las propiedades del fluido, ya que será el medio de intercambio de energía.

Los cabezales existentes en cada colector permitirán el paso del caudal necesario para obtener la temperatura deseada en cada habitación, lo que permitirá además, que se haga de forma independiente entre todos y cada uno de los circuitos.

Los caudales en l/s resultantes para cada colector son:

Colector	Suelo radiante	Suelo refrescante
1	0,057	0,117
2	0,163	0,240
3	0,176	0,326

Tabla 24. Caudales por circuito [Hoja de cálculo propia]

Según esto, para cubrir las necesidades de suelo radiante necesitaríamos **0,396 l/s** en el caso de suelo radiante y **0,683 l/s** para el caso de suelo refrescante,

#### 10.2.5 Velocidad del agua

La velocidad del fluido debe de ser controlada y no sobrepasar un determinado valor, igual a 2 m/s, para no tener problemas de ruido por la fricción del agua sobre las paredes del tubo.

Para ello, lo comprobaremos a partir del caudal.

Como veremos en el Anexo III, la velocidad máxima es de **0,2426 m/s** por lo que estamos dentro de límites.

### 10.2.6 Montantes

Para poder seleccionar el diámetro que tendrán las distintas tuberías desde la sala de calderas hasta cada uno de los colectores es preciso conocer el caudal total que circulará a través de ellos. El caudal empleado será el arrojado en el sistema de suelo refrescante, ya que es mayor que en el otro caso. La instalación de montantes se dispondrá de tal manera que todo el caudal llegue hasta el punto donde se encuentren situados los dos colectores de la planta inferior y luego, otra nueva montante que dirija el caudal necesario hasta el colector de la planta superior.

Teniendo en cuenta el caudal total de 0,683 l/s y una pérdida de carga máxima recomendada igual a 0,2KPa/m, obtendremos que la tubería tipo Wirsbo-evalPEX que debemos instalar será la de **40x3,7** en la planta inferior, mientras que la tubería que suba hasta el colector de la planta superior bastará con que sea de **32x2,8**.

### 10.2.7 Pérdidas de carga

Las pérdidas, al igual que para la obtención de las montantes, se calculan en el caso más desfavorable, es decir, el sistema de climatización que conlleve un mayor caudal para cubrir las necesidades. Teniendo en cuenta esto, todos los cálculos se han realizado para la instalación de suelo refrescante.

Según los cálculos desplegados en punto 6.5 del Anexo III, vemos que las pérdidas de carga en la instalación ascienden a 77,789 kPa, que convertidos a metros de columna de agua, juntamente con la altura piezométrica son **11,239m**.

### 10.2.8 Selección de la bomba de circulación

Como hemos mencionado, el cálculo de las pérdidas de carga se realiza en pos de seleccionar una bomba de impulsión con capacidad para mover toda la masa de agua. Además de dicho parámetro, otro fundamental para su selección es el caudal circulante. Para nuestro sistema, el caudal circulantes es  $6,82 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$  y la altura de 11,239m.

Según estos datos, la bomba finalmente elegida es la **Wilo-Stratos-Z 30/1-12**. [19]

### 10.2.9 Compensación de los distribuidores

Para el correcto funcionamiento del sistema de climatización y que en cada habitación se alcance en todo momento la temperatura deseada, es necesario realizar, sobre todo al realizar la nueva instalación, un equilibrado hidráulico, es decir, evitaremos que el agua se vaya principalmente por los primeros circuitos que recorra sino que lo haga a aquellos en los que sea necesario y de manera exacta. Para ello nos valdremos de los detentores que existen en las cajas de colectores (uno por circuito). Estos elementos nos permitirán ajustar el caudal de agua entrante con sus 13 posiciones distintas (desde la posición 0 hasta la 12). Bastará con girar la rueda hasta la posición indicada, la cual se obtiene entrando en el siguiente gráfico del fabricante con los datos de caudal y pérdida de carga por circuito.

La posición de los detentores para cada uno de los circuitos queda reflejada en el punto 6.7 del Anexo III.

### 10.2.10 Vaso de expansión

El vaso de expansión es un elemento utilizado en la mayoría de los circuitos de calefacción y su objetivo es absorber el aumento de presión que se produce en el fluido caloportador cuando se calienta y se expande y devolverla cuando éste se enfría.

Para dimensionar este elemento hemos de conocer el caudal total que recorrerá la instalación así como las presiones tanto manométrica como de la válvula de seguridad, además del coeficiente de expansión del fluido.

Entrando en la fórmula que aparece en el Anexo III, nos indica que **no es necesario que incluyamos en nuestra instalación un vaso de expansión.**

### 10.2.11 Depósito de Inercia

Para el mejor funcionamiento del compresor de la bomba de calor y conseguir alargar su vida útil lo máximo posible, es recomendable instalar a la salida de la misma un depósito que almacena la cantidad necesaria de agua para evitar que las paradas y arranques del compresor se produzcan de forma continuada.

Para su dimensionamiento acudiremos a la ficha técnica del compresor, pues como acabamos de comentar, dicho depósito irá acorde a su funcionamiento.

Los parámetros directos de los que dependerá son: la potencia frigorífica, el tiempo de parada y el incremento máximo de parada. Fijando estos valores como se puede observar en el apartado 4.9 del Anexo III, nos sale que el depósito de Inercia óptimo para nuestra instalación deberá tener un volumen mínimo de **42,028 l.**

Siguiendo este valor, el depósito de inercia seleccionado para nuestra instalación será el modelo **IM 0060 SI – 60l** de la marca Biosan. [24]



Figura 23. Depósito de inercia [[www.grupobiosan.com](http://www.grupobiosan.com). Agosto 2016]



## ANEXO I. ALTERNATIVAS DE DISEÑO

1. GEOTERMIA.....	63
1.2 Definición .....	63
1.3 Ventajas.....	64
1.4 Inconvenientes .....	64
2. AEROTERMIA.....	64
2.1 Definición .....	64
2.2 Ventajas.....	65
2.3 Inconvenientes .....	66
3. ENERGÍA SOLAR TÉRMICA.....	66
3.1 Definición .....	66
3.2 Inconvenientes .....	67
4. CALDERA DE PELLETS .....	67
4.1 Definición .....	67
4.2 Ventajas.....	68
4.3 Inconvenientes .....	69
5. CALDERA DE CONDENSACIÓN.....	69
5.1 Definición .....	69
5.2 Ventajas.....	70
5.3 Inconvenientes .....	70



## Índice de figuras

Figura 1. Esquema funcionamiento energía geotérmica [ <a href="http://pansogal.com/">http://pansogal.com/</a> . Diciembre 2015] .....	64
Figura 2. Esquema funcionamiento energía aerotérmica [ <a href="http://www.gercoastur.com/">http://www.gercoastur.com/</a> . Diciembre 2015] .....	65
Figura 3. Esquema funcionamiento Energía solar térmica [ <a href="http://www.ekidom.com/">http://www.ekidom.com/</a> . Diciembre 2015]Ventajas .....	67
Figura 4. Funcionamiento Energía Biomasa [ <a href="http://neveraportatil.es/">http://neveraportatil.es/</a> . Diciembre 2015] .....	68
Figura 5. Esquema funcionamiento caldera de condensación [ <a href="http://www.junkers.es">www.junkers.es</a> . Diciembre 2015] .....	69



Para hacer de este sistema de climatización una instalación mucho más confortable y eficiente, vamos a comentar algunas posibilidades de apoyo, ya que como acabamos de mencionar, el hecho de que el salto térmico sea tan recudido hace que sean varios los sistemas con los que el suelo radiante funcione correctamente.

Algunos de estos sistemas son:

## 1. GEOTERMIA

### 1.2 Definición

La energía geotérmica es la energía almacenada en forma de calor por debajo de la superficie de la tierra.

Es una fuente inagotable de energía, y a diferencia de otros sistemas no influyen las condiciones meteorológicas del momento (sol, viento, etc.).

La energía geotérmica es capaz de abastecer hasta el 100% de las necesidades de calefacción y de agua caliente sanitaria ( ACS) de una vivienda, edificio, etc., incluso con temperaturas exteriores muy bajas, proporcionando además refrigeración en verano, todo ello con una misma instalación, mediante suelos radiantes o fancoils.

Por tanto, la energía geotérmica es, en su más amplio sentido, la energía calorífica que la tierra transmite desde sus capas internas hacia la parte más externa de la corteza terrestre.

Esta energía es respetuosa con el medio ambiente y tiene un nulo impacto ambiental, ya que los intercambiadores de calor están situados en el terreno o en las propias cimentaciones de los edificios.

El fluido caloportador se hace circular mediante una bomba por el sistema de captación, consistente en una serie de conductos enterrados en el terreno, a una temperatura inferior a la del propio terreno. Esta diferencia de temperaturas causa una transferencia de energía en forma de calor del terreno al fluido.

1. En el evaporador de la bomba de calor, el fluido caloportador que circula por las sondas geotérmicas cede la energía captada del terreno al refrigerante que circula por la bomba de calor.
2. El refrigerante, ahora en forma de vapor, es aspirado por el compresor, que aumenta de forma considerable su presión y por tanto también su temperatura.
3. A continuación, este refrigerante a alta presión y temperatura pasa al condensador, donde se enfría y condensa cediendo calor al agua del sistema de emisión, que se calienta.
4. El agua caliente se distribuye a través del sistema de emisión (suelo radiante, fancoils, etc.) calentando así nuestra vivienda.
5. Por último, el refrigerante condensado se introduce en la válvula de expansión, que disminuye su presión y temperatura de forma que vuelve a estar en condiciones de absorber en el evaporador el calor captado por el fluido caloportador de las sondas, iniciándose de este



modo un nuevo ciclo.

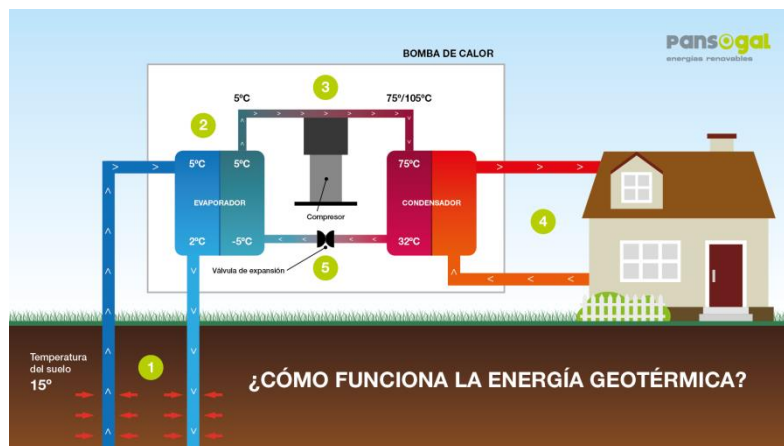


Figura 1. Esquema funcionamiento energía geotérmica [<http://pansogal.com/>. Diciembre 2015]

### 1.3 Ventajas

- No genera ruidos exteriores.
- Los recursos geotérmicos son prácticamente inagotables a escala humana.
- Los residuos que produce son mínimos y ocasionan menor impacto ambiental que los originados por el petróleo y el carbón.
- Estable, pues es una fuente constante de energía.
- La bomba de calor geotérmica se puede utilizar tanto para calefacción como para refrigeración.

### 1.4 Inconvenientes

- Existe riesgo de contaminación térmica.
- Emisiones tóxicas.
- Impacto medioambiental.
- No se puede transportar.
- Limitada disponibilidad.

## 2. AEROTERMIA

### 2.1 Definición

La aerotermia es una energía de fuentes renovables que saca provecho de la energía contenida en el aire que nos rodea, para utilizarla para diferentes finalidades. Actualmente la aerotermia se puede utilizar para producir agua caliente sanitaria y también para calefacción y climatizar

viviendas o espacios\_cerrados.

La aerotermia es un sistema de bomba de calor aire-agua, muy similar a los sistemas aire-aire, el cual utiliza la energía presente en el aire para proporcionarnos calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria en la vivienda.

Concretamente, el principio de funcionamiento de la aerotermia es la combinación de una bomba de calor y un acumulador que utiliza el calor del aire para producir agua caliente:

1. El aire exterior es aspirado hacia el interior de la bomba de calor por un ventilador. Al pasar por la batería aletada del evaporador el aire cede su calor, pierde alrededor de  $10^{\circ}\text{C}$  y es expulsado.

2. El fluido refrigerante pasa por el evaporador y absorbe el calor cedido por el aire. Este proceso hace que el refrigerante cambie de estado evaporizando a presión y temperatura estables ( $0^{\circ}\text{C}$ ; 5 bar).

3. El gas refrigerante pasa por el compresor donde el aumento de presión implica un aumento de temperatura, elevándose a estado de vapor sobrecalentado ( $70^{\circ}\text{C}$ ; 20 bar).

4. En el condensador el refrigerante cede su calor al agua contenida en el acumulador. Este proceso hace que el refrigerante pase de vapor sobrecalentado al estado líquido, condensando a presión constante pero con una gran pérdida de temperatura ( $70-40^{\circ}\text{C}$ ; 20 bar).

5. El líquido refrigerante pasa por la válvula de expansión, pierde temperatura y presión y vuelve a las condiciones de presión y temperatura iniciales ( $40^{\circ}\text{C}$   $\rightarrow$   $0^{\circ}\text{C}$ ; 5bar). El ciclo termodinámico puede volver a empezar para el funcionamiento de la aerotermia.

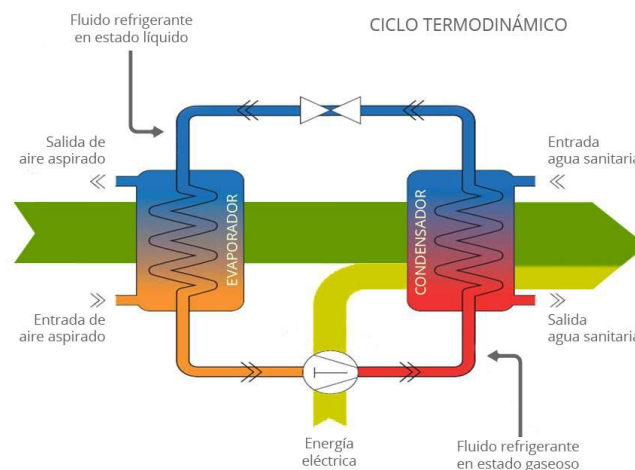


Figura 2. Esquema funcionamiento energía aerotérmica [<http://www.gercoastur.com/>. Diciembre 2015]

## 2.2 Ventajas

- No necesitan chimenea.
- No es necesario almacenar ningún combustible.
- De las energías renovables, se podría decir que es la más barata.
- Tiene un mantenimiento mínimo.



- No precisan de grandes obras como perforaciones o movimientos de tierra, como la geotermia.
- No hay gases tóxicos, ni humos, ni combustibles.
- Al no usar nada más que electricidad, no tendremos varios contratos con compañías energéticas.
- La unidad interior ocupa lo mismo que una caldera de gas.
- Pueden enfriar y calentar, con lo que se pueden tanto en invierno como en verano.

### 2.3 Inconvenientes

- Necesitan de la colocación de una unidad exterior.
- Con temperaturas extremas, (inferiores a  $-15^{\circ}\text{C}$ ) su rendimiento baja considerablemente.
- La inversión inicial, es bastante alta.
- Trabaja mejor en sistemas de baja temperatura (suelo radiante, fancoils o radiadores de baja temperatura).

## 3. ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

### 3.1 Definición

Se entiende por energía solar térmica, a la transformación de la energía radiante solar en calor o energía térmica. La energía solar térmica se encarga de calentar el agua de forma directa alcanzando temperaturas que oscilan entre los  $40^{\circ}$  y  $50^{\circ}$  gracias a la utilización de paneles solares (siempre temperaturas inferiores a los  $80^{\circ}\text{C}$ ). El agua caliente queda almacenada para su posterior consumo: calentamiento de agua sanitaria, usos industriales, calefacción de espacio, calentamiento de piscinas, secaderos, refrigeración, etc.

En una instalación de energía solar térmica, la energía que llega a nosotros de los rayos solares, es captada en forma de calor por un dispositivo especial que absorbe esa radiación, llamado colector solar, también llamado placa solar.

Las placas solares están diseñadas de tal manera que las pérdidas de energía reflejada y emitida en forma de radiación y convección sean lo menores posible, existiendo diversos tipos de placas solares según el diseño que tengan para evitar estas pérdidas.

Por el interior de la placa circula un fluido caloportador, que puede ser agua, pero se suele usar un fluido que incluye anticongelante, que aunque disminuye su capacidad calorífica evita los peligrosos riesgos para la instalación de una congelación en invierno.

Este fluido caloportador se conduce mediante una bomba por un sistema de válvulas y tuberías aisladas para evitar perder el calor que hemos captado en las placas solares a un intercambiador de calor que cede este calor al agua caliente sanitaria (ACS) que usamos para las aplicaciones domésticas, o en un intercambiador de calor para la calefacción.

El primer problema que podemos pensar es que podemos tener demanda de agua caliente o calefacción en momentos en que no hay luz solar, o haber luz solar pero no tener demanda. Para solucionar esto se usan los acumuladores y los interacumuladores, que son acumuladores

que llevan el intercambiador de calor en su interior.

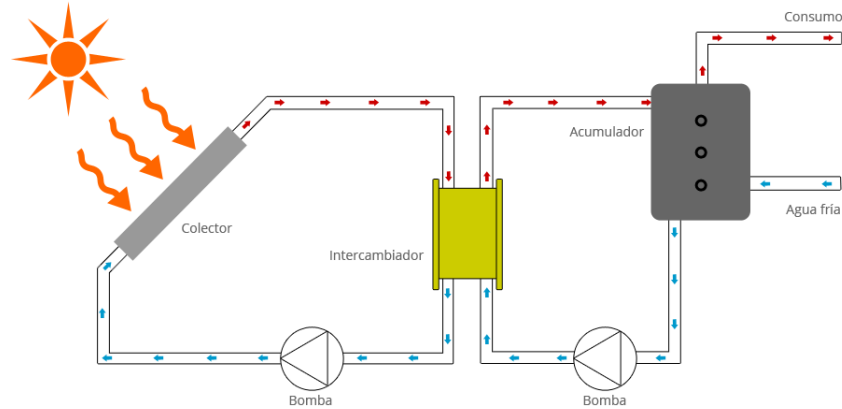


Figura 3. Esquema funcionamiento Energía solar térmica [<http://www.ekidom.com/>. Diciembre 2015]Ventajas

- Es un recurso inagotable y completamente renovable, por lo que no contamina
- La disponibilidad de energía solar reduce la dependencia de otros países para el abastecimiento de energía de la población.
- Los sistemas de captación solar que se suelen utilizar son de fácil mantenimiento, lo que facilita su elección.
- El impacto ambiental es nulo: no produce desechos, residuos, ruidos...
- No usa combustibles, eliminando así la peligrosidad de su almacenamiento.

### 3.2 Inconvenientes

- Tiene peligro por las altas temperaturas que alcanza.
- Los paneles solares producen un impacto ambiental.
- Es una fuente de energía difusa, la luz solar es una energía relativamente de baja densidad.
- Los lugares donde hay mayor radiación solar, son lugares desérticos y alejados de las ciudades.

## 4. CALDERA DE PELLETS

### 4.1 Definición

Las calderas de biomasa utilizan como fuente de energía combustibles naturales como los pellets de madera, huesos de aceituna, residuos forestales, cáscaras de frutos secos, etc. para

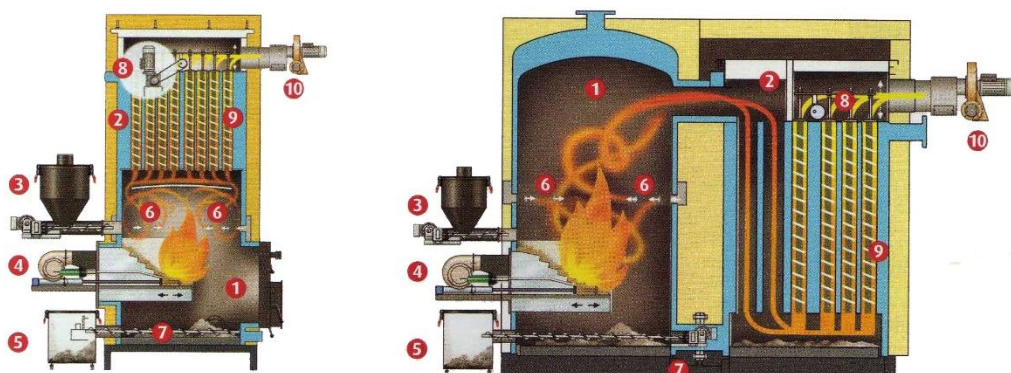
generar calefacción (por radiadores, aire o suelo radiante) y agua caliente a una vivienda o edificio de viviendas. Es por ello que se las considera las calderas más ecológicas del mercado.

La base de su funcionamiento es similar a cualquier otra caldera: las calderas de biomasa queman el combustible (el pellet o similar) generando una llama horizontal que entra en la caldera. El calor generado durante esta combustión es transmitido al circuito de agua en el intercambiador incorporado en la caldera, con lo que se obtiene agua caliente para el sistema de calefacción o ACS.

Para optimizar el funcionamiento de la caldera de biomasa, podemos instalar un acumulador, que almacenará el calor de una forma similar a un sistema de energía solar.

Las calderas de biomasa necesitan un contenedor o silo para el almacenaje del biocombustible situado próximo a la caldera. Desde el mismo, un alimentador de tornillo sin fin o de succión, lo lleva a la caldera, donde se realiza la combustión. El combustible tipo pellet debe almacenarse con una inclinación de unos 45º para su correcta inserción en la caldera.

Al quemar biomasa se produce algo de ceniza, que se recoge generalmente de manera automática en un cenicero que debe vaciarse varias veces al año.



Esquema de Funcionamiento y componentes BIOSELECT

1. Cámara de combustión. 2. Intercambiador tubos verticales. 3. Silo + Sinfín alimentación 4. Conjunto quemador: Aire primario Encendido automático Empujador de cenizas 5. Contenedor de cenizas. 6. Aire secundario. 7. Extractor de cenizas. 8. Sistema de limpieza intercambiador. 9. Retenedores. 10. Extractor de humos

Figura 4. Funcionamiento Energía Biomasa [<http://neveraportatil.es/>. Diciembre 2015]

## 4.2 Ventajas

- Son más ecológicos que los combustibles fósiles.
- No son volátiles.
- La combustión de los pellets apenas produce CO<sub>2</sub>, por lo que resulta beneficioso para el medio ambiente al no contribuir en el efecto invernadero.
- No se presentan riesgo de explosión.
- No producen olores.

### 4.3 Inconvenientes

- Requieren una limpieza semanal.
- Hacen algo de ruido.
- Producen cierta suciedad con la propia ceniza de la combustión.
- Necesita almacenar sacos de pellets.

## 5. CALDERA DE CONDENSACIÓN

### 5.1 Definición

Las calderas de condensación son calderas estancas y tienen el mismo funcionamiento que las calderas de Baja Temperatura. Sólo que además son capaces de aprovechar el calor o la energía de los gases de escape, pudiendo llegar a unos rendimientos superiores de hasta 109%. Son las calderas más eficientes del mercado, y regulan la temperatura en función de la demanda energética.

Al enfriar estos humos por debajo de la temperatura de rocío (temperatura en la que el vapor de agua pasa de estado gaseoso a líquido) se libera energía en forma de calor que es aprovechada para calentar el agua del circuito.

Esta energía, que las calderas convencionales desaprovechan, puede suponer un ahorro de hasta un 20% en la factura de gas. Además, la caldera de condensación es más respetuosa con el medioambiente ya que los gases que desprende son menos contaminantes que los de una caldera convencional.

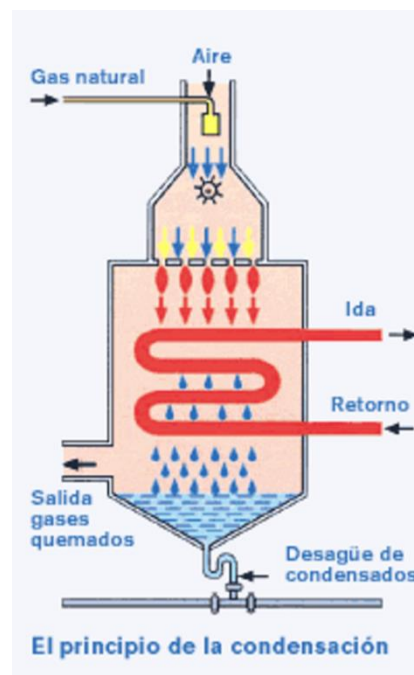


Figura 5. Esquema funcionamiento caldera de condensación [www.junkers.es. Diciembre 2015]



## 5.2 Ventajas

- Altos rendimientos: 109%.
- Pueden regular la temperatura en función de la demanda energética.
- Aptas para sistemas centralizados en edificios, viviendas unifamiliares o pisos.
- El proceso de combustión del gas natural es limpio y no contamina ya que no emite residuos como por ejemplo las cenizas en las chimeneas.

## 5.3 Inconvenientes

- Si se usa con radiadores es conveniente que estos tengan mayor superficie de intercambio que con las calderas convencionales.
- Necesitan un desagüe para verter los condensados generados.
- Son más caras que las calderas convencionales.



## ANEXO II. FICHAS JUSTIFICATIVAS

1	FICHAS JUSTIFICATIVAS DE LA OPCIÓN SIMPLIFICADA.....	73
2	CONFORMIDAD DE LA DEMANDA.....	76







Índice de figuras

Figura 1. Nomenclatura de los muros ..... 73



En este Anexo incluiremos las fichas justificativas que aparecen en el DB-HE1 con el fin de demostrar que todos los cerramientos que conforman nuestra vivienda están dentro de los parámetros fijados en dicho documento, y por lo tanto, constituyen un ahorro de energía. [15]

## 1 FICHAS JUSTIFICATIVAS DE LA OPCIÓN SIMPLIFICADA

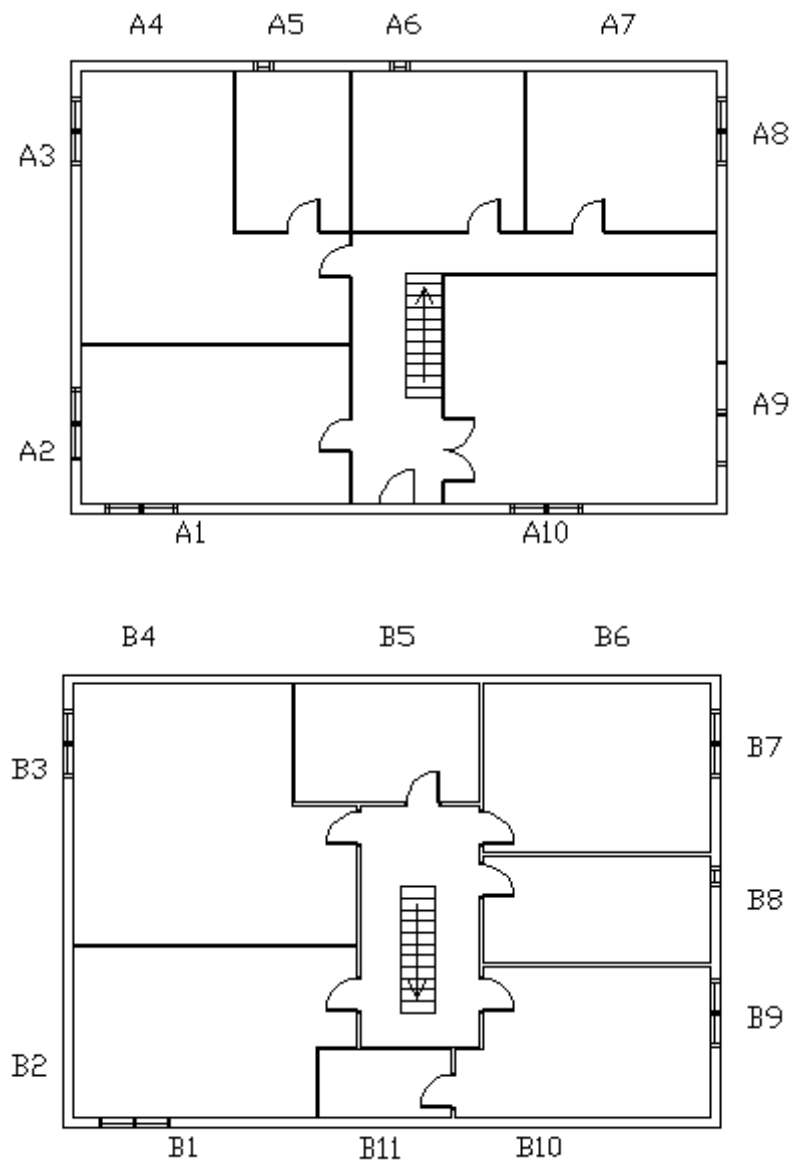


Figura 1. Nomenclatura de los muros



<b>ZONA CLIMÁTICA</b>	<b>D3</b>
-----------------------	-----------

<b>MUROS (<math>U_{Mm}</math>) y (<math>U_{TM}</math>)</b>						
<b>Tipos</b>		<b>A(m<sup>2</sup>)</b>	<b>U (W/(m<sup>2</sup>·K))</b>	<b>A·U (W/K)</b>	<b>Resultados</b>	
<b>N</b>	<b>A4</b>	13,266	0,356	4,721	$\Sigma A = 109,06$ $\Sigma A \cdot U = 38,811$	
	<b>A5</b>	9,65	0,356	3,434		
	<b>A6</b>	14,633	0,356	5,207		
	<b>A7</b>	16,599	0,356	5,907		
	<b>B4</b>	19,074	0,356	6,788		
	<b>B5</b>	16,038	0,356	5,707		
	<b>B6</b>	19,8	0,356	7,046	$U_{mm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A$	0,356
<b>S</b>	<b>A1</b>	19,63	0,356	6,986	$\Sigma A = 41,44$ $\Sigma A \cdot U = 14,748$	
	<b>A10</b>	0,00	0,356	0,000		
	<b>B1</b>	7,95	0,356	2,830		
	<b>B10</b>	13,86	0,356	4,932		
	<b>B11</b>	0,00	0,356	0,000	$U_{mm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A$	0,356
<b>E</b>	<b>A8</b>	0,00	0,356	0,000	$\Sigma A = 26,421$ $\Sigma A \cdot U = 9,402$	
	<b>A9</b>	0,00	0,356	0,000		
	<b>B7</b>	12,05	0,356	4,286		
	<b>B8</b>	11,01	0,356	3,918		
	<b>B9</b>	3,37	0,356	1,198	$U_{mm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A$	0,356
<b>O</b>	<b>A2</b>	0,25	0,356	0,089	$\Sigma A = 35,962$ $\Sigma A \cdot U = 12,798$	
	<b>A3</b>	20,93	0,356	7,448		
	<b>B2</b>	14,784	0,356	5,261		
	<b>B3</b>	0,00	0,356	0,000	$U_{mm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A$	0,356



<b>ZONA CLIMÁTICA</b>	D3
-----------------------	----

<b>SUELOS (<math>U_{sm}</math>)</b>				
Tipos	A(m <sup>2</sup> )	U (W/(m <sup>2</sup> ·K))	A·U (W/K)	Resultados
Suelo sobre terreno	64,77	0,348	22,57	$\Sigma A =$ 64,77
				$\Sigma A \cdot U =$ 22,57
				$U_{mm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A$ 0,348

<b>ZONA CLIMÁTICA</b>	D3
-----------------------	----

<b>CUBIERTAS Y LUCERNARIOS (<math>U_{cm}</math>)</b>				
Tipos	A(m <sup>2</sup> )	U (W/(m <sup>2</sup> ·K))	A·U (W/K)	Resultados
Cubierta	49,87	0,351	17,498596	$\Sigma A =$ 49,87
				$\Sigma A \cdot U =$ 17,499
				$U_{mm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A$ 0,351

<b>ZONA CLIMÁTICA</b>	D3
-----------------------	----

<b>HUECOS (<math>U_{hm}</math>)</b>					
Tipos	A(m <sup>2</sup> )	U (W/(m <sup>2</sup> ·K))	A·U (W/K)	Resultados	
N	A5	0,25	1,4	0,35	$\Sigma A =$ 0,5
	A6	0,25	1,4	0,35	$\Sigma A \cdot U =$ 0,7
					$U_{mm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A$ 1,4
S	A1	0,00	1,4	0	$\Sigma A =$ 43,56
	A10	43,56	1,4	60,984	$\Sigma A \cdot U =$ 60,984
	B1	0,00	1,4	0	$U_{mm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A$ 1,4
E	A8	16,60	1,4	23,2386	$\Sigma A =$ 76,55
	A9	23,76	1,4	33,264	$\Sigma A \cdot U =$ 107,1714
	B7	0,00	1,4	0	
	B8	9,70	1,4	13,5828	
	B9	26,49	1,4	37,086	$U_{mm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A$ 1,4
O	A2	0,00	1,4	0	$\Sigma A =$ 2,70
	A3	2,70	1,4	3,78	$\Sigma A \cdot U =$ 3,78
	B3	0,00	1,4	0	$U_{mm} = \Sigma A \cdot U / \Sigma A$ 1,4

## 2 CONFORMIDAD DE LA DEMANDA

<b>ZONA CLIMÁTICA</b>	D3
-----------------------	----

<b>Cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica</b>	<b><math>U_{\max(\text{proyecto})}</math></b>	<b><math>U_{\max}</math></b>
Muros de fachada	0,356	$\leq$ 0,66
Suelos	0,348	$\leq$ 0,49
Cubiertas	0,351	$\leq$ 0,38
Vidrios y marcos de huecos y lucernarios	1,400	$\leq$ 3,5

<b>MUROS DE FACHADA</b>		
	$U_{Mm}$	$U_{mlim}$
N	0,356	$\leq$ 0,66
S	0,356	
E	0,356	
O	0,356	

<b>HUECOS</b>		
	$U_{Hm}$	$U_{Hlim}$
N	1,4	$\leq$ 3,5
S	1,4	$\leq$ 3,5
E	1,4	$\leq$ 2,9
O	1,4	$\leq$ 3,5

<b>SUELOS</b>		
	$U_{Sm}$	$U_{Slim}$
	0,348	$\leq$ 0,49

<b>CUBIERTAS</b>		
	$U_{Cm}$	$U_{Clim}$
	0,351	$\leq$ 0,38



## ANEXO III. CÁLCULOS

1	CÁLCULO DE LAS CARGAS TÉRMICAS.....	83
1.1	Condiciones de confort .....	83
1.2	Cargas térmicas de refrigeración .....	86
1.2.1	Condiciones exteriores.....	86
1.2.2	Cargas sensibles .....	87
1.2.3	Cargas latentes.....	97
1.3	Cargas térmicas de calefacción .....	99
1.3.1	Condiciones exteriores.....	100
1.3.2	Cargas térmicas .....	100
1.4	Resumen de cargas térmicas.....	103
1.5	Caudales de ventilación.....	104
1.6	Cálculos de aberturas.....	106
2	PRODUCCIÓN DE ACS.....	106
2.1	Caudal de ACS.....	106
2.2	Dimensionado de las redes de distribución .....	107
2.3	Pérdidas de carga .....	108
2.4	Selección de la bomba de circulación. ....	109
2.5	Volumen del depósito de acumulación.....	110
2.6	Vaso de expansión.....	111
2.7	Potencia de ACS.....	112
3	CÁLCULOS INSTALACIÓN GEOTÉRMICA .....	113
3.1	Selección de la bomba geotérmica .....	114
3.2	Fluido circulante .....	115
3.3	Configuración a escoger y elección de los tubos .....	116
3.4	Caudal a través de los tubos .....	116
3.5	Temperaturas de intercambio .....	117
3.5.1	Temperaturas máximas y mínimas del terreno .....	117
3.5.2	Temperaturas máximas y mínimas de entrada del fluido a la bomba de calor	118
3.6	Resistencia de los tubos al flujo de calor .....	119
3.7	Resistencia del terreno.....	119
3.7.1	Factor de utilización .....	120



3.8	Cálculo de la longitud del intercambiador geotérmico.....	121
4	CÁLCULOS DE INSTALACIÓN DE SUELO RADIANTE/REFRESCANTE.....	123
4.1	Longitud de los tubos.....	123
4.2	Sistema de suelo radiante.....	124
4.2.1	Temperatura del suelo.....	125
4.2.2	Temperatura de impulsión.....	127
4.2.3	Caudal de agua por circuito y velocidad.....	131
4.3	Sistema de suelo refrescante.....	133
4.3.1	Temperatura del suelo.....	133
4.3.2	Temperatura de impulsión.....	135
4.3.3	Caudal de agua por circuito y velocidad.....	140
4.4	Montantes.....	142
4.5	Pérdidas de carga.....	144
4.6	Selección de la bomba de circulación.....	147
4.7	Compensación de los distribuidores.....	148
4.8	Vaso de expansión.....	151
4.9	Depósito de inercia.....	153



## Índice de tablas

Tabla 1. Cargas térmicas según época [Hoja de cálculo propia] .....	83
Tabla 2. Condiciones interiores de confort [Hoja de cálculo propia].....	83
Tabla 3. Cargas térmicas de transmisión a través de los cerramientos [Hoja de cálculo propia] .....	89
Tabla 4. Coeficientes de corrección según la orientación.....	90
Tabla 5. Cargas térmicas de radiación a través de los cerramientos [Hoja de cálculo propia]...	91
Tabla 6. Factores de corrección según la orientación y el elemento en ventana.....	92
Tabla 7. Cargas térmicas de radiación a través de los vidrios [Hoja de cálculo propia] .....	93
Tabla 8. Cargas térmicas de ventilación sensible [Hoja de cálculo propia] .....	94
Tabla 9. Cargas térmicas de Iluminación.....	95
Tabla 10. Cargas térmicas debidas a los equipos instalados.....	95
Tabla 11. Carga sensible y latente en función de la actividad [www.ingemecanica.com-Marzo 2016] .....	96
Tabla 12. Carga sensible por habitación .....	97
Tabla 13. Carga térmica de ventilación .....	98
Tabla 14. Carga latente por habitación [Hoja de cálculo propia] .....	99
Tabla 15. Cargas térmicas a través de los cerramientos [Hoja de cálculo propia] .....	102
Tabla 16. Carga térmica de ventilación [Hoja de cálculo propia].....	103
Tabla 17. Resumen cargas térmicas [Hoja de cálculo propia].....	103
Tabla 18. Caudales de ventilación mínimos exigidos [DB-HS-3] .....	104
Tabla 19. Caudales de admisión [Hoja de cálculo propia] .....	104
Tabla 20. Caudales de extracción [Hoja de cálculo propia] .....	105
Tabla 21. Caudales de admisión equilibrado [Hoja de cálculo propia] .....	105
Tabla 22. Renovaciones del aire por unidad de tiempo [Hoja de cálculo propia] .....	105





Tabla 23. Secciones de aberturas de ventilación [Hoja de cálculo propia].....	106
Tabla 24. Caudal instantáneo mínimo para cada tipo de aparato [DB HS4].....	107
Tabla 25. Caudales de ACS [Hoja de cálculo propia] .....	107
Tabla 26. Coeficientes simultaneidad uso de ACS [Guía Técnica de Agua Caliente Sanitaria Central].....	108
Tabla 27. Demanda de referencia a 60°C [DB HE 4] .....	110
Tabla 28. Número de personas por vivienda [DB HE 4] .....	111
Tabla 29. Temperatura del agua de la red [Norma UNE 94002/95] .....	113
Tabla 30. Propiedades del fluido circulante [TFG Climatización de un edificio de oficinas mediante energía geotérmica].....	115
Tabla 31. Valores orientativos de conductividad y capacidad térmica para distintos tipos de materiales [Guía técnica de diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado] .....	120
Tabla 32. Valores de referencia de nuestro sistema.....	121
Tabla 33. Número de circuitos de suelo radiante necesarios para abastecer la demanda térmica [Hoja de cálculo propia] .....	124
Tabla 34. Longitud de cada circuito [Hoja de cálculo propia] .....	124
Tabla 35. Temperatura del suelo para cada uno de los circuitos para la instalación de suelo radiante [Hoja de cálculo propia].....	126
Tabla 36. Factor de paso [Manual de suelo invisible Uponor. Mayo 2016].....	128
Tabla 37. Factor de recubrimiento [Manual de suelo invisible Uponor. Mayo 2016] .....	128
Tabla 38. Factor adimensional en función del diámetro exterior de la tubería [Manual de suelo invisible Uponor. Mayo 2016].....	129
Tabla 39. Factor en función del tipo de superficie [Manual de suelo invisible Uponor. Mayo 2016] .....	129
Tabla 40. Caudal y velocidad del fluido en cada uno de los circuitos para la instalación de suelo radiante [Hoja de cálculo propia].....	132
Tabla 41. Temperatura del suelo para cada uno de los circuitos para la instalación de suelo refrescante [Hoja de cálculo propia].....	134



Tabla 42. Factor de paso [Manual de suelo invisible Uponor. Mayo 2016].....	137
Tabla 43. Factor de recubrimiento [Manual de suelo invisible Uponor. Mayo 2016] .....	137
Tabla 44. Factor adimensional en función del diámetro exterior de la tubería [Manual de suelo invisible Uponor. Mayo 2016].....	138
Tabla 45. Factor en función del tipo de superficie [Manual de suelo invisible Uponor. Mayo 2016] .....	138
Tabla 46. Caudal y velocidad del fluido en cada uno de los circuitos para la instalación de suelo refrescante [Hoja de cálculo propia].....	141
Tabla 47. Pérdidas de carga por circuito para la instalación de suelo refrescante.....	145
Tabla 48. Total de pérdida de carga por colector [Hoja de cálculo propia] .....	147
Tabla 49. Valores de ajuste para cada circuito para instalación de suelo radiante [Hoja de cálculo propia].....	150
Tabla 50. Valores de ajuste para cada circuito para instalación de suelo refrescante [Hoja de cálculo propia].....	151
Tabla 51. Caudales instalación climatización [Hoja de cálculo propia].....	152



## Índice de figuras

Figura 1. Resistencia térmica muro exterior [Programa CEXv1.3] .....	84
Figura 2. Resistencia térmica cubierta [Programa CEXv1.3] .....	84
Figura 3. Resistencia térmica forjado terreno [Programa CEXv1.3].....	85
Figura 4. Resistencia térmica forjado interior [Programa CEXv1.3].....	85
Figura 5. Resistencia térmica tabique interior [Programa CEXv1.3] .....	86
Figura 6. Resistencia térmica partición interior [Programa CEXv1.3] .....	86
Figura 7. Diagrama psicométrica [Apuntes mecánica Universidad de Sevilla] .....	98
Figura 8. Curva característica bomba de impulsión seleccionada [www.wilo.com – Agosto 2016] .....	110
Figura 9. Ficha técnica bomba geotérmica [http://www.buderus.es/- Diciembre 2015] .....	115
Figura 10. Configuración seleccionada para nuestro sistema geotérmico [Guía técnica de diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado] .....	116
Figura 11. Gráfica del comportamiento de nuestra instalación.....	121
Figura 12. Diagrama de pérdida de carga en tuberías Wirsbo-evalPEX [Manual de suelo invisible Uponor. Mayo 2016] .....	143
Figura 13. Pérdida de carga de cada colector en función del número de circuitos [Manual de suelo invisible Uponor. Mayo 2016] .....	146
Figura 14. Curva característica bomba de impulsión seleccionada [www.wilo.com – Agosto 2016] .....	148
Figura 15. Gráfico compensación de los distribuidores [Manual de suelo invisible Uponor. Mayo 2016] .....	149



En este Anexo detallaremos todos los procesos de cálculo que hemos seguido en todo momento. Para ello seguiremos el orden establecido a la hora de la construcción de la vivienda, es decir, en primer lugar obtendremos las cargas térmicas para así conocer la carga demanda real a cubrir por nuestros sistemas, a continuación diseñaremos la instalación geotérmica y por último calcularemos nuestra instalación de suelo radiante/refrescante.

## 1 CÁLCULO DE LAS CARGAS TÉRMICAS

Para el cálculo de las cargas térmicas tendremos en cuenta los siguientes factores según la época del año.

VERANO	INVIERNO
Radiación solar	Transmisión
Transmisión	Ventilación
Iluminación	
Ocupación	
Ventilación	
Generación interna de equipos	

Tabla 1. Cargas térmicas según época [Hoja de cálculo propia]

### 1.1 Condiciones de confort

Las condiciones interiores de confort de temperatura y humedad en los recintos climatizados en función de la actividad que se desarrolla y del grado de vestimenta, etc... serán de:

ESTACIÓN	VERANO	INVIERNO
Temperatura (°C)	24	22
Humedad (%)	50	50

Tabla 2. Condiciones interiores de confort [Hoja de cálculo propia]

A continuación se adjunta el perfil de cada uno de los elementos constructivos que conforman nuestra vivienda, así como la resistencia térmica total del elemento en cuestión.

- **Muro exterior**

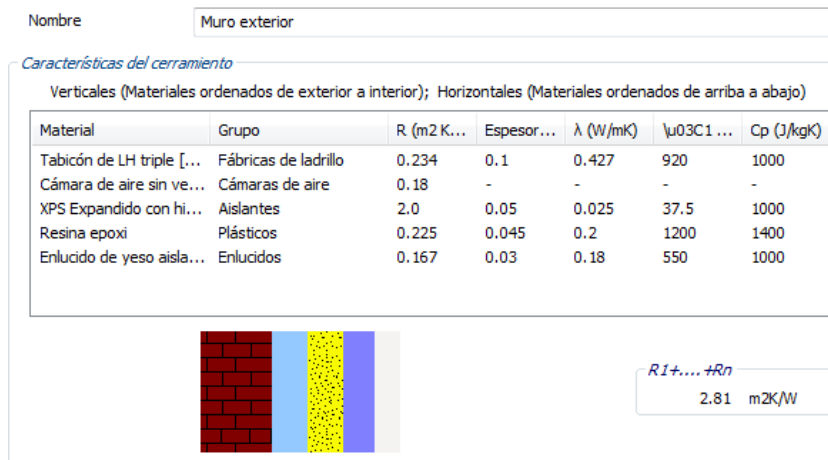


Figura 1. Resistencia térmica muro exterior [Programa CEXv1.3]

- **Cubierta:**

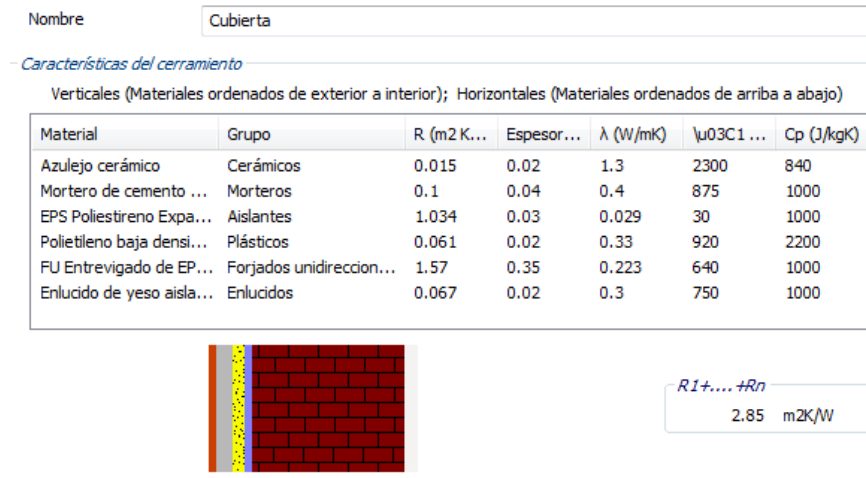


Figura 2. Resistencia térmica cubierta [Programa CEXv1.3]

- **Forjado terreno:**

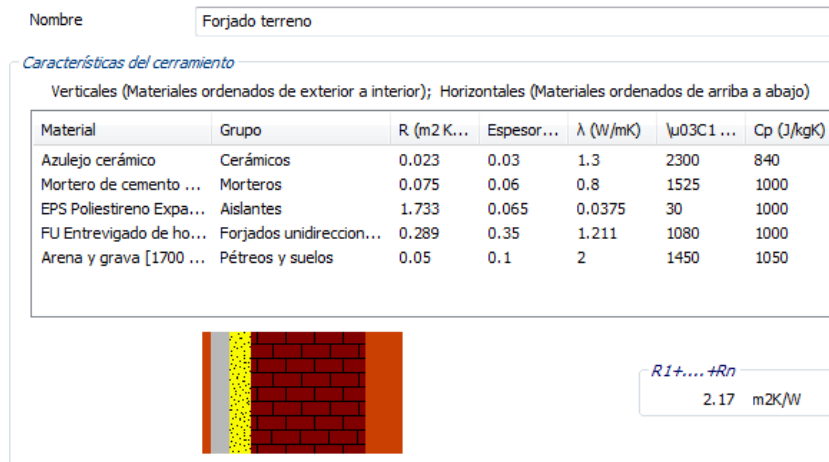


Figura 3. Resistencia térmica forjado terreno [Programa CEXv1.3]

- **Forjado interior:**

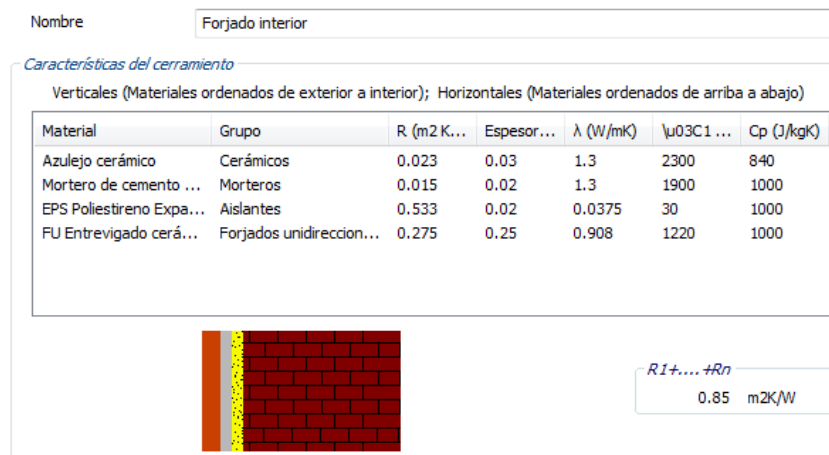


Figura 4. Resistencia térmica forjado interior [Programa CEXv1.3]

- **Tabique:**

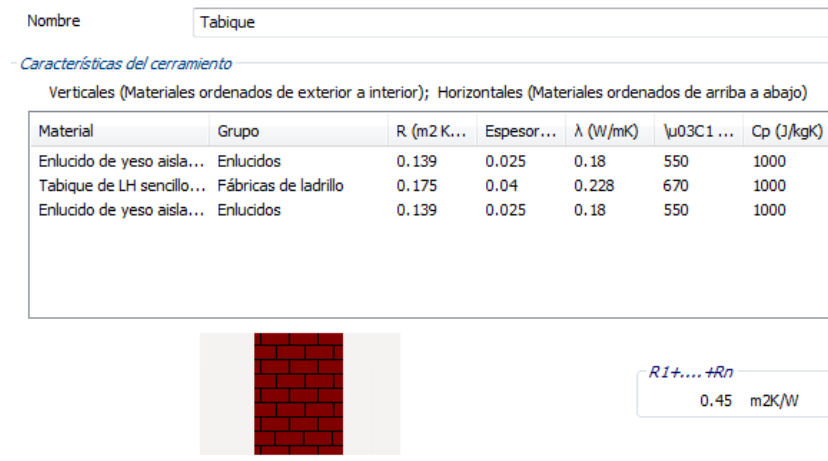


Figura 5. Resistencia térmica tabique interior [Programa CEXv1.3]

- **Partición interior:**

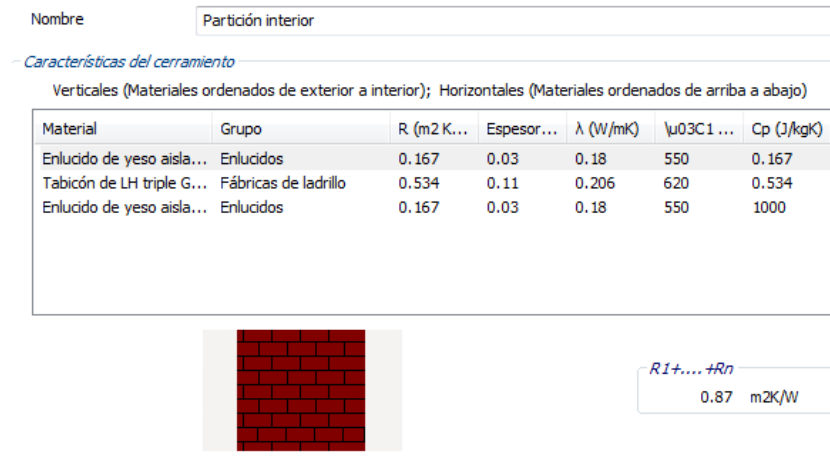


Figura 6. Resistencia térmica partición interior [Programa CEXv1.3]

## 1.2 Cargas térmicas de refrigeración

Es este apartado vamos a calcular de forma justificada las cargas térmicas a las que se verá expuesta nuestra vivienda en verano. Para tener cubierta la demanda durante todo el año, se estudiarán en el caso más desfavorable posible.

### 1.2.1 Condiciones exteriores

Las condiciones exteriores a las que se verá sometida nuestra instalación serán las siguientes:

- Nivel de percentil: 1%



- Temperatura de bulbo seco: 34,45 °C
- Temperatura de bulbo húmedo: 18,25 °C
- Temperatura del terreno: 29,8 °C
- Humedad exterior: 43%
- OMD: 17,95 °C

### 1.2.2 Cargas sensibles

Las cargas sensibles son aquellas cargas que, a humedad absoluta constante, elevan la temperatura seca del aire. [15]

#### 1.2.2.1 Cargas térmicas de transmisión a través de los cerramientos

Las cargas térmicas a través de los cerramientos se calculan a partir de la siguiente expresión:

$$Q_{tr} = U \cdot A \cdot \Delta T$$

Dónde:

- $Q_{tr}$  es el calor transmitido a través de los cerramientos [W].
- A es el área de la superficie incidente [m<sup>2</sup>].
- U es el coeficiente global de transferencia de calor [W/m<sup>2</sup>·K].
- $\Delta T$  es la variación de temperatura entre el interior y el exterior. Para las habitaciones no climatizadas se considerará su temperatura interior igual a  $\Delta T$ . Puesto que el pasillo no contiene ningún circuito independiente, pero por él discurren todos los demás circuitos, se ha considerado la diferencia de temperatura entre locales refrigerados y el pasillo igual a 2°C.

Teniendo en cuenta todo esto, las cargas térmicas de transmisión a través de los cerramientos quedan distribuidas de la siguiente manera:





ESPACIO: Planta Baja							
Cerramiento por habitación	Longitud (m)	Altura (m)	Superficie (m <sup>2</sup> )	Deducción (m <sup>2</sup> ) por ventana	U (W/m <sup>2</sup> K)	Δt (° C)	Q (W)
<b>DORMITORIO 1 (D1)</b>							
Pared O	7,16	3,30	23,63	2,70	0,36	10,45	77,81
Pared N	4,02	3,30	13,27		0,36	10,45	49,32
Pared a pasillo	2,88	3,30	9,50		2,22	2,00	42,24
Ventana E	1,80	1,50	2,70		1,40	10,45	39,50
Suelo ,forjado			37,67		0,46	5,80	100,61
<b>TOTAL D1</b>							<b>309,49</b>
<b>DORMITORIO 2 (D2)</b>							
Pared E	4,20	3,30	13,86	2,70	0,36	10,45	41,49
Pared N	5,03	3,30	16,60		0,36	10,45	61,72
pared a pasillo	5,03	3,30	16,60		2,22	2,00	73,77
Ventana N	1,80	1,50	2,70		1,40	10,45	39,50
Suelo			21,11		0,46	5,80	56,38
<b>TOTAL D2</b>							<b>272,87</b>
<b>SALON (S)</b>							
Pared E	6,00	3,30	19,80	6,88	0,36	10,45	48,06
Pared S	7,20	3,30	23,76	2,85	0,36	10,45	77,75
Pared Pasillo	13,20	3,30	43,56		2,22	2,00	193,60
Ventana E	2,75	2,50	6,88		1,19	10,45	85,49
Ventana S	1,90	1,50	2,85		1,40	10,45	41,70
Suelo			43,20		0,46	5,80	115,38
<b>TOTAL S</b>							<b>561,97</b>
<b>BAÑO 1 (B1)</b>							
Pared N	3,00	3,30	9,90	0,25	0,36	10,45	35,88
Ventana N	0,50	0,50	0,25		1,40	10,45	3,66
Suelo			12,60		0,46	5,80	33,65
<b>TOTAL B1</b>							<b>73,19</b>
<b>BAÑO 2 (B2)</b>							
Pared N	4,51	3,30	14,88	0,25	0,36	10,45	54,41
Pared Pasillo	4,51	3,30	14,88	0,00	2,22	2,00	66,15
Ventana N	0,50	0,50	0,25		1,40	10,45	3,66
Suelo			18,95		0,46	5,80	50,61
<b>TOTAL B2</b>							<b>174,82</b>
<b>COCINA (CO)</b>							
Pared O	4,16	3,30	13,73	3,80	0,36	10,45	36,91
Pared S	7,10	3,30	23,43	3,80	0,36	10,45	72,99
Pared Pasillo	4,16	3,30	13,73		2,22	2,00	61,01
Ventana O	1,90	2,00	3,80		1,40	10,45	55,59
Ventana S	1,90	2,00	3,80		1,40	10,45	55,59
Suelo			29,54		0,46	5,80	78,90
<b>TOTAL CO</b>							<b>361,00</b>
<b>PASILLO 1 (P1)</b>							
Suelo			21,27		0,46	5,80	56,81
<b>TOTAL Pasillo 1</b>							<b>56,81</b>
<b>Qt (W) TOTAL Planta Baja</b>							<b>1810,15</b>
<b>Qt (kW) TOTAL Planta Baja</b>							<b>1,81</b>



ESPACIO: Planta Alta							
Cerramiento por habitac	Longitud (m)	Altura (m)	Superficie (m <sup>2</sup> )	Deducción (m <sup>2</sup> ) por ventana	U (W/m <sup>2</sup> K)	Δt (° C)	Q (W)
<b>DORMITORIO 3 (D3)</b>							
Pared O	6,84	3,30	22,57	2,70	0,36	10,45	73,89
Pared N	5,78	3,30	19,07		0,36	10,45	70,92
Pared Trastero	4,91	3,30	16,20		1,15	2,61	48,66
Pared a Pasillo	3,65	3,30	12,05		2,22	2,00	53,53
Ventana O	1,80	1,50	2,70		1,40	10,45	39,50
Techo, cubierta			45,80		0,35	10,45	167,93
<b>TOTAL D3</b>							<b>454,43</b>
<b>DORMITORIO 4 (D4)</b>							
Pared E	4,42	3,30	14,59	2,70	0,36	10,45	44,19
Pared N	6,00	3,30	19,80		0,36	10,45	73,62
Pared a pasillo	1,02	3,00	3,06		2,22	2,00	13,60
Pared a Trastero	1,80	3,30	5,94		1,15	2,61	17,84
Ventana E	1,80	1,50	2,70		1,40	10,45	39,50
Techo, cubierta			26,49		0,35	10,45	97,13
<b>TOTAL D4</b>							<b>285,88</b>
<b>DORMITORIO 5 (D5)</b>							
Pared E	4,20	3,30	13,86	2,85	0,36	10,45	40,94
Pared S	4,20	3,30	13,86		0,36	10,45	51,53
Pared a Pasillo	2,94	3,30	9,70		2,22	2,00	43,12
Ventana E	1,90	1,50	2,85		1,40	10,45	41,70
Techo, cubierta			25,30		0,35	10,45	92,77
<b>TOTAL D5</b>							<b>270,05</b>
<b>BAÑO 3 (B3)</b>							
Pared E	2,83	3,30	9,34	0,25	0,36	10,45	33,79
Pared Pasillo	2,83	3,30	9,34		2,22	2,00	41,51
Ventana E	0,50	0,50	0,25		1,40	10,45	3,66
Techo, cubierta			16,97		0,35	10,45	62,22
<b>TOTAL B3</b>							<b>65,88</b>
<b>BAÑO 4 (B4)</b>							
Pared S	3,50	3,30	11,55		0,36	10,45	42,94
Pared Pasillo	2,41	3,30	7,95		2,22	2,00	35,35
Techo, cubierta			6,30		0,35	10,45	23,10
<b>TOTAL B4</b>							<b>23,10</b>
<b>TRASTERO (T)</b>							
Pared N	4,86	3,30	16,04		0,36	10,45	59,63
Techo, cubierta			15,11		0,35	10,45	55,40
<b>TOTAL TR</b>							<b>55,40</b>
<b>SALA DE JUEGOS (SJ)</b>							
Pared O	4,48	3,30	14,78		0,36	10,45	54,97
Pared S	4,41	3,30	14,55	2,85	0,36	10,45	43,51
Pared Pasillo	2,60	3,30	8,58		2,22	2,00	38,13
Ventana S	1,90	1,50	2,85		1,40	10,45	41,70
Techo, cubierta			31,55		0,35	10,45	115,68
<b>TOTAL SJ</b>							<b>293,99</b>
<b>PASILLO 2 (P2)</b>							
Techo, cubierta			16,91		0,35	10,45	62,00
<b>TOTAL Pasillo 2</b>							<b>62,00</b>
<b>Qt (W) TOTAL Planta Baja</b>							<b>1510,74</b>
<b>Qt (kW) TOTAL Planta Baja</b>							<b>1,51</b>
<b>Qt (kW) TOTAL VIVIENDA</b>							<b>3,32</b>

Tabla 3. Cargas térmicas de transmisión a través de los cerramientos [Hoja de cálculo propia]

### 1.2.2.2 Cargas térmicas de radiación a través de los cerramientos

Para el cálculo de la carga térmica ocurrida a través de los cerramientos debido a la radiación. Para los cálculos en los que interfiere la radiación se han escogido los datos referidos al día más caluroso de julio a las 15:00h.

Para obtener este valor se ha utilizado la siguiente expresión:

$$Q_{rad.cerr} = A \cdot U \cdot DTE$$

Siendo  $DTE = f(\text{Orientación}, DE, Hsolar) = 0,4 \cdot T_{med} + 0,6 \cdot T_{máx}$

Dónde:

- $Q_{rad.cerr}$  es la carga térmica transferida por radiación a través de los cerramientos [W].
- A es el área de la superficie incidente [m<sup>2</sup>].
- DTE es la diferencia de temperatura equivalente [°C].
- $T_{med}$  es la temperatura media en el mes de julio [°C].
- $T_{máx}$  es la temperatura máxima en el mes de julio [°C].

Los coeficientes tenidos en cuenta para la DTE han sido los siguientes:

Orientación	Temperatura exterior de cálculo ( $T_{ec}$ ) en °C
Norte	$0,6 \cdot T_e$
Sur	$T_e$
Este	$0,8 \cdot T_e$
Oeste	$0,9 \cdot T_e$
Cubierta	$T_e + 12$
Suelo	$(T_e + 15) / 2$
Paredes interiores	$T_e \cdot 0,75$

Tabla 4. Coeficientes de corrección según la orientación

Teniendo en cuenta estos valores, obtendremos los siguientes valores para la carga térmica de radiación a través de los cerramientos.



ESPACIO: Planta Baja							
Cerramiento por habitación	Longitud (m)	Altura (m)	Superficie (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> K)	DTE	Coef. Orientación	Quad.cerr (W)
<b>DORMITORIO 1 (D1)</b>							
Pared O	7,16	3,30	23,63	0,36	12,13	0,90	81,290
Pared N	4,02	3,30	13,27	0,36	12,13	0,60	34,352
<b>TOTAL D1</b>							<b>115,64</b>
<b>DORMITORIO 2 (D2)</b>							
Pared E	4,20	3,30	13,86	0,36	12,13	0,80	38,532
Pared N	5,03	3,30	16,60	0,36	12,13	0,60	42,983
<b>TOTAL D2</b>							<b>81,52</b>
<b>SALON (S)</b>							
Pared E	6,00	3,30	19,80	0,36	12,13	0,80	44,626
Pared S	7,20	3,30	23,76	0,36	12,13	1,00	90,245
<b>TOTAL S</b>							<b>134,87</b>
<b>BAÑO 1 (B1)</b>							
Pared N	3,00	3,30	9,90	0,36	12,13	0,60	24,989
<b>TOTAL B1</b>							<b>24,99</b>
<b>BAÑO 2 (B2)</b>							
Pared N	4,51	3,30	14,88	0,36	12,13	0,60	37,892
<b>TOTAL B2</b>							<b>37,89</b>
<b>COCINA (CO)</b>							
Pared O	4,16	3,30	13,73	0,36	12,13	0,90	38,563
Pared S	7,10	3,30	23,43	0,36	12,13	1,00	84,720
<b>TOTAL CO</b>							<b>123,28</b>
<b>Qt (W) TOTAL Planta Baja</b>							<b>518,19</b>
<b>Qt (kW) TOTAL Planta Baja</b>							<b>0,52</b>
ESPACIO: Planta Alta							
Cerramiento por habitación	Longitud (m)	Altura (m)	Superficie (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> K)	DTE	Coef. Orientación	Quad.cerr (W)
<b>DORMITORIO 3 (D3)</b>							
Pared O	6,84	3,30	22,57	0,36	12,13	0,90	77,188
Pared N	5,78	3,30	19,07	0,36	12,13	0,60	49,392
Techo, cubierta			45,80	0,35	12,13	1,33	259,675
<b>TOTAL D3</b>							<b>386,26</b>
<b>DORMITORIO 4 (D4)</b>							
Pared E	4,42	3,30	14,59	0,36	12,13	0,80	41,039
Pared N	6,00	3,30	19,80	0,36	12,13	0,60	51,272
Techo, cubierta			26,49	0,35	12,13	1,33	150,192
<b>TOTAL D4</b>							<b>242,50</b>
<b>DORMITORIO 5 (D5)</b>							
Pared E	4,20	3,30	13,86	0,36	12,13	0,80	38,014
Pared S	4,20	3,30	13,86	0,36	12,13	1,00	59,818
Techo, cubierta			25,30	0,35	12,13	1,33	143,445
<b>TOTAL D5</b>							<b>241,28</b>
<b>BAÑO 3 (B3)</b>							
Pared E	2,83	3,30	9,34	0,36	12,13	0,80	31,381
Techo, cubierta			16,97	0,35	12,13	1,33	96,216
<b>TOTAL B3</b>							<b>96,22</b>
<b>BAÑO 4 (B4)</b>							
Pared S	3,50	3,30	11,55	0,36	12,13	1,00	49,848
Techo, cubierta			6,30	0,35	12,13	1,33	35,719
<b>TOTAL B4</b>							<b>35,72</b>
<b>TRASTERO (T)</b>							
Pared N	4,86	3,30	16,04	0,36	12,13	0,60	41,531
Techo, cubierta			15,11	0,35	12,13	1,33	85,670
<b>TOTAL TR</b>							<b>85,67</b>
<b>SALA DE JUEGOS (SJ)</b>							
Pared O	4,48	3,30	14,78	0,36	12,13	0,90	46,355
Pared S	4,41	3,30	14,55	0,36	12,13	1,00	50,508
Techo, cubierta			31,55	0,35	12,13	1,33	178,881
<b>TOTAL SJ</b>							<b>275,74</b>
<b>Qt (W) TOTAL Planta Alta</b>							<b>1363,38</b>
<b>Qt (kW) TOTAL Planta Alta</b>							<b>1,36</b>
<b>Qt (kW) TOTAL VIVIENDA</b>							<b>1,88</b>

Tabla 5. Cargas térmicas de radiación a través de los cerramientos [Hoja de cálculo propia]

### 1.2.2.3 Cargas térmicas de radiación a través de los vidrios

Como hemos mencionado antes, para la radiación se han tenido en cuenta los registros ocurridos durante el mes de julio a las 15:00h, ya que es cuando se produce el mayor índice de radiación.

Para calcular este tipo de carga, hay que tener en cuenta si las ventanas van a poseer algún elemento que impida esta radiación, tipo cortinas, persianas, toldos...

Los valores de radiación, y el factor de corrección han sido tomados de la siguiente tabla:

Radiación solar según la orientación									
Hora solar	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Horizontal
10	50	98	400	466	217	50	50	50	722
11	54	57	183	356	284	72	54	54	794
12	54	54	59	202	309	202	59	54	816
13	54	54	54	72	284	356	183	57	794
14	50	50	50	50	217	466	400	98	722
15	48	44	44	44	133	511	568	249	593
16	44	37	37	37	57	492	647	407	433

Elemento en la ventana	Factor f
Persiana color claro	0,56
Persiana color gris	0,65
Persiana color oscuro	0,75
Toldo o lona exterior	0,25
Cortina interior blanca	0,41
Cortina interior gris	0,63
Cortina interior oscura	0,80
Persiana exterior madera	0,24

Tabla 6. Factores de corrección según la orientación y el elemento en ventana

Y la expresión empleada para obtener el valor de dicha carga ha sido la siguiente:

$$Q_{rad.vid} = A \cdot G \cdot f$$

Dónde:

- $Q_{rad.vid}$  es la carga térmica de radiación transferida a través de los vidrios [W].
- A es el área de la superficie incidente [m<sup>2</sup>].
- G es el valor de la radiación global por unidad de superficie [W/m<sup>2</sup>].
- F es el factor de corrección debido a otros elementos [adimensional].

Con todo esto, la carga térmica que se transfiere por radiación a través de nuestros vidrios queda de la siguiente forma:



ESPACIO: Planta Baja						
Cerramiento por habitacion	Longitud (m)	Altura (m)	Superficie (m <sup>2</sup> )	G (W/m <sup>2</sup> )	f	Qrv (W)
<b>DORMITORIO 1 (D1)</b>						
Ventana E	1,80	1,50	2,70	44,00	0,35	41,91
<b>TOTAL D1</b>						<b>41,91</b>
<b>DORMITORIO 2 (D2)</b>						
Ventana N	1,80	1,50	2,70	48,00	0,35	45,72
<b>TOTAL D2</b>						<b>45,72</b>
<b>SALON (S)</b>						
Ventana E	2,75	2,50	6,88	44,00	0,08	23,25
Ventana S	1,90	1,50	2,85	133,00	0,35	133,73
<b>TOTAL S</b>						<b>156,98</b>
<b>BAÑO 1 (B1)</b>						
Ventana N	0,50	0,50	0,25	48,00	1,00	12,00
<b>TOTAL B1</b>						<b>12,00</b>
<b>BAÑO 2 (B2)</b>						
Ventana N	0,50	0,50	0,25	48,00	1,00	12,00
<b>TOTAL B2</b>						<b>12,00</b>
<b>COCINA (CO)</b>						
Ventana S	1,90	2,00	3,80	133,00	0,35	178,31
<b>TOTAL CO</b>						<b>178,31</b>
<b>Qt (W) TOTAL Planta Baja</b>						<b>446,92</b>
<b>Qt (kW) TOTAL Planta Baja</b>						<b>0,45</b>
ESPACIO: Planta Alta						
Cerramiento por hab	Longitud (m)	Altura (m)	Superficie (m <sup>2</sup> )	G (W/m <sup>2</sup> )	f	QRV (W)
<b>DORMITORIO 3 (D3)</b>						
Ventana O	1,80	1,50	2,70	568,00	0,35	541,05
<b>TOTAL D3</b>						<b>541,05</b>
<b>DORMITORIO 4 (D4)</b>						
Ventana E	1,80	1,50	2,70	44,00	0,35	41,91
<b>TOTAL D4</b>						<b>41,91</b>
<b>DORMITORIO 5 (D5)</b>						
Ventana E	1,90	1,50	2,85	44,00	0,35	44,24
<b>TOTAL D5</b>						<b>44,24</b>
<b>BAÑO 3 (B3)</b>						
Ventana E	0,50	0,50	0,25	44,00	1,00	11,00
<b>TOTAL B3</b>						<b>11,00</b>
<b>SALA DE JUEGOS (SJ)</b>						
Ventana S	1,90	1,50	2,85	133,00	0,35	133,73
<b>TOTAL SJ</b>						<b>133,73</b>
<b>Qt (W) TOTAL Planta Alta</b>						<b>771,94</b>
<b>Qt (kW) TOTAL Planta Alta</b>						<b>0,77</b>
<b>Qt (kW) TOTAL VIVIENDA</b>						<b>1,219</b>

Tabla 7. Cargas térmicas de radiación a través de los vidrios [Hoja de cálculo propia]

#### 1.2.2.4 Cargas térmicas de ventilación sensible

Este tipo de carga térmica, a diferencia de la ventilación latente, produce un aumento de la temperatura seca del aire. Para su obtención es necesario conocer los caudales de aire interior que circulan por la vivienda, que ya han sido justificados anteriormente.

A partir de ellos, y siguiendo la siguiente expresión, obtendremos su valor:

$$Q_v = \dot{V} \cdot c_p \cdot \rho \cdot \Delta T$$

Dónde:

- $Q_v$  es la carga térmica de ventilación sensible [W].
- $\dot{V}$  es el caudal del aire de ventilación [l/s].
- $c_p$  es el calor específico del agua [1000 J/kg·°C].
- $\rho$  es la densidad del aire [0,00129 kg/l].
- $\Delta T$  es la variación de la temperatura entre el aire interior y el aire exterior [°C].

Teniendo en cuenta todo anteriormente reflejado, nuestras cargas térmicas de ventilación sensible son las siguientes:

Local	Caudal aire (m <sup>3</sup> /h)	Q <sub>v</sub> (W)
D1	51,178	191,639
D2	51,178	191,639
D3	51,178	191,639
D4	51,178	191,639
D5	51,178	191,639
S	108,000	404,415
SJ	64,800	242,649
<b>TOTAL</b>		<b>1605,258</b>

Tabla 8. Cargas térmicas de ventilación sensible [Hoja de cálculo propia]

#### 1.2.2.5 Cargas térmicas de Iluminación

La potencia de las luminarias de un determinado espacio produce un aumento de la carga térmica. En nuestro caso, la totalidad de nuestras luminarias van a ser de tipo LED, lo que supondrá un gran ahorro, ya que además de tener un consumo muy bajo, toda su potencia aparente es igual a la potencia activa, ya que no tienen potencia reactiva, es decir, toda la energía eléctrica consumida es transformada en potencia activa, y por tanto, en luz.

A continuación se adjunta una tabla con la potencia lumínica instalada en cada recinto, teniendo en cuenta un factor de uso, que representa en número de horas en las que las luminarias se encuentran encendidas.

Local	Pot. equipo (W)	Uso	$Q_{\text{silum}}$ (W)
D1	15	0,125	1,875
D2	11	0,125	1,375
D3	18	0,125	2,250
D4	11	0,125	1,375
D5	11	0,125	1,375
S	80	0,2	16,000
SJ	25	0,15	3,750
B1	15	0,1	1,500
B2	15	0,1	1,500
B3	15	0,1	1,500
B4	11	0,1	1,100
CO	54	0,2	10,800
<b>TOTAL</b>			<b>44,400</b>

Tabla 9. Cargas térmicas de Iluminación

### 1.2.2.6 Cargas térmicas debidas a los equipos instalados

Como ocurría con las luminarias, el uso de los equipos eléctricos produce un calor sensible en el ambiente, es decir, hacen que aumente la temperatura seca del aire.

Al igual que hemos operado con la iluminación, hemos tenido en cuenta un factor de uso que representa la fracción de tiempo en el que cada equipo se encuentra funcionando a lo largo del día. Para obtener el resultado final, basta con multiplicar la potencia unitaria de cada equipo por la cantidad de elementos del mismo que tengamos.

La carga térmica debida al uso de equipos eléctricos o electrónicos queda de la siguiente manera:

Equipo	Potencia unit. (W)	Uds.	Ubicación	Uso	Q (W)
Ordenador	300	3	Habitación	0,1	90
TV	360	5	Hab/salón	0,15	270
Vitrocerámica	5000	1	Cocina	0,075	375
Frigorífico	290	1	Cocina	1	290
Lavadora	1900	1	Cocina	0,05	95
Lavavajillas	1900	1	Cocina	0,05	95
Microhondas	750	1	Cocina	0,02	15
Horno	1000	1	Cocina	0,02	20
Secadora	1900	1	Cocina	0,005	9,5
Cafetera	950	1	Cocina	0,005	4,75
Equipo de música	265	1	Salón	0,01	2,65
Aspirador	750	1	Cocina	0,05	37,5
<b>TOTAL</b>					<b>1304,4</b>

Tabla 10. Cargas térmicas debidas a los equipos instalados



### 1.2.2.7 Cargas térmicas debidas a la ocupación sensible

Las personas que ocupan un recinto, desde el punto de vista del cálculo, son fuentes de energía transmitida por conducción-convección, produciendo carga térmica sensible y latente. En este apartado nos centraremos solamente en el primer caso, la carga térmica sensible.

La cantidad de calor disipado por cada persona va a depender de la temperatura ambiente y del grado de actividad de la misma.

Para calcular la carga térmica debido a la ocupación lo haremos en el caso más desfavorable, es decir, cuando la vivienda se encuentre completamente habitada, como hemos venido haciendo hasta ahora.

La carga sensible emitida por cada persona en función de la temperatura y su actividad, se ha obtenido a través de la siguiente tabla. Los valores se han tomado para una actividad semejante a la de “sentado trabajo ligero” y una temperatura de 24°C. [25]

ACTIVIDAD REALIZADA	28 °C		27 °C		26 °C		24 °C	
	Sensible	Latente	Sensible	Latente	Sensible	Latente	Sensible	Latente
Sentado en reposo. Escuela.	45	45	50	40	55	35	60	30
Sentado trabajo ligero. Instituto.	45	55	50	50	55	45	60	40
Oficinista, actividad ligera.	45	70	50	65	55	60	60	50
Persona de pie. Tienda.	45	70	50	75	55	70	65	60
Persona que pasea. Banco.	45	80	50	75	55	70	65	60
Trabajo sedentario.	50	90	55	85	60	80	70	70
Trabajo ligero taller.	50	140	55	135	60	130	75	115
Persona que camina.	55	160	60	155	70	145	85	130
Persona que baila.	70	185	75	175	85	170	95	155
Persona en trabajo penoso.	115	250	120	250	125	245	130	230

Tabla 11. Carga sensible y latente en función de la actividad [www.ingemecanica.com-Marzo 2016]

A raíz de estos datos y el número de personas, la carga térmica de ocupación sensible a la que se verá expuesta nuestra vivienda quedaría distribuida de la siguiente manera:

Local	Carga por persona (W/prs.)	Q <sub>spers.</sub> (W)
D1	60	120
D2	60	120
D3	60	120
D4	60	120
D5	60	120
S	60	600
SJ	60	360
B1	60	60
B2	60	60
B3	60	60
B4	60	60
CO	60	240
<b>TOTAL</b>		<b>2040</b>

Tabla 12. Carga sensible por habitación

### 1.2.3 Cargas latentes

Las cargas latentes son aquellas cargas que, a temperatura seca constante, elevan la humedad absoluta del aire.

#### 1.1.1.1 Cargas térmicas de ventilación latente

Como acabamos de comentar, este tipo de cargas produce un aumento de la humedad absoluta del aire.

La expresión que nos va a permitir calcular la carga de ventilación latente es la siguiente:

$$Q_{vent.lat} = \dot{V} \cdot DW \cdot 0,83$$

Dónde:

- $Q_{vent.lat}$  es la carga térmica de ventilación latente [W].
- $\dot{V}$  es el caudal del aire de ventilación [l/s].
- DW es la diferencia entre la humedad absoluta exterior e interior.

Para conocer la humedad relativa del aire interior, es preciso acudir al diagrama Psicométrico con las condiciones que tengamos en el interior de nuestro recinto. Es por ello que acudiremos al diagrama con una Temperatura de bulbo seco de 24 °C y una Humedad relativa del 50%, obteniéndose así una **Humedad Absoluta del 9,7%**.

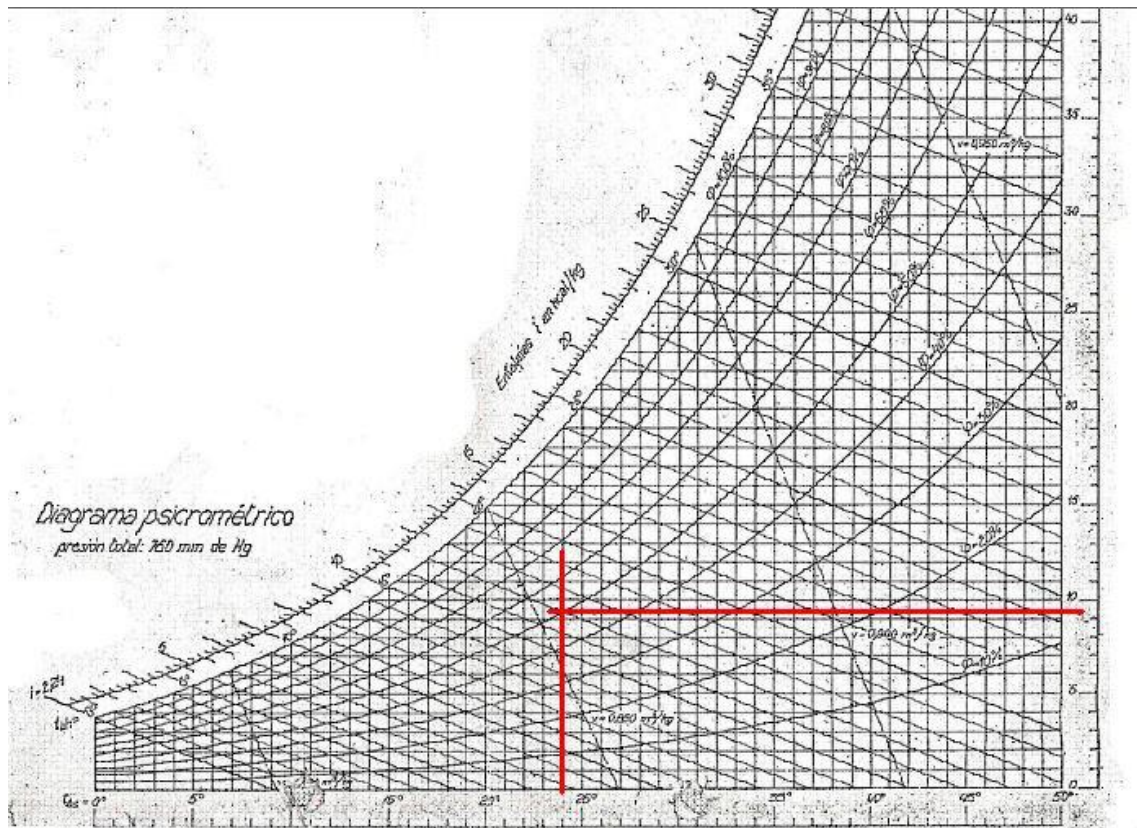


Figura 7. Diagrama psicrométrica [Apuntes mecánica Universidad de Sevilla]

Una vez conocido este dato ya podemos proceder a calcular la carga térmica de ventilación latente en cada uno de los recintos.

Quedaría de la siguiente manera:

Local	Caudal aire (m <sup>3</sup> /h)	Q <sub>vent.lat</sub> (W)
D1	51,178	225,130
D2	51,178	225,130
D3	51,178	225,130
D4	51,178	225,130
D5	51,178	225,130
S	108,000	475,092
SJ	64,800	285,055
<b>TOTAL</b>		<b>1885,799</b>

Tabla 13. Carga térmica de ventilación

### 1.1.1.1 Cargas térmicas debidas a la ocupación latente

Consiste en el aumento que sufre la humedad absoluta del ambiente debido a los valores desprendidos por el cuerpo humano a temperatura constante.

La cantidad de calor latente disipado por cada persona va a depender de la temperatura

ambiente y del grado de actividad de la misma.

Para calcular la carga latente debido a la ocupación, lo haremos en el caso más desfavorable, es decir, cuando la vivienda se encuentre completamente habitada, como en el caso de la carga térmica por ocupación sensible.

La carga latente emitida por cada persona en función de la temperatura y su actividad, se ha obtenido a través de la tabla 11 que aparece en el apartado anterior. Los valores se han tomado para una actividad semejante a la de “sentado trabajo ligero” y una temperatura de 24°C.

Teniendo en cuenta este valor, y el número de personas que podrían habitar nuestra vivienda según datos de proyecto, la carga térmica latente de ocupación es la siguiente:

Local	Carga por persona (W/prs.)	Q <sub>spers.</sub>
		(W)
D1	40	80
D2	40	80
D3	40	80
D4	40	80
D5	40	80
S	40	400
SJ	40	240
B1	40	40
B2	40	40
B3	40	40
B4	40	40
CO	40	160
<b>TOTAL</b>		<b>1360</b>

Tabla 14. Carga latente por habitación [Hoja de cálculo propia]

### 1.3 Cargas térmicas de calefacción

Es este apartado vamos a calcular de forma justificada las cargas térmicas a las que se verá expuesta nuestra vivienda en invierno. Para tener cubierta la demanda durante todo el año, se estudiarán en el caso más desfavorable posible.

El dimensionamiento de la calefacción es menos complejo que el cálculo de refrigeración. Solamente se calcula la carga térmica sensible.

En el cálculo de cargas de invierno es necesario situarnos en el caso más desfavorable. Para ello, los aportes de calor que sean intermitentes como iluminación, equipos y ocupación se despreciarán.

La radiación también se despreciará ya que en el caso más desfavorable no habrá aporte de calor por parte de los rayos de sol.

Teniendo en cuenta esto, solo se considerarán pérdidas de calor por transmisión a través de paredes y cristales.

### 1.3.1 Condiciones exteriores

Las condiciones exteriores a las que se verá sometida nuestra instalación durante el invierno serán las siguientes:

- Nivel de percentil: 99%
- Temperatura de bulbo seco: -3,15 °C
- Temperatura del terreno: 5,88 °C
- Humedad absoluta exterior: 84%

### 1.3.2 Cargas térmicas

En este apartado explicaremos la forma por la cual hemos procedido hasta llegar a los resultados finales de las cargas térmicas.

#### 1.3.2.1 Cargas térmicas de transmisión a través de los cerramientos

Las cargas térmicas a través de los cerramientos se calculan a partir de la siguiente expresión:

$$Q_{tran} = U \cdot A \cdot \Delta T$$

Dónde:

- $Q_{tran}$  es el calor transmitido a través de los cerramientos [W].
- $A$  es el área de la superficie incidente [ $m^2$ ].
- $U$  es el coeficiente global de transferencia de calor [ $W/m^2 \cdot K$ ].
- $\Delta T$  es la variación de temperatura entre el interior y el exterior. Para las habitaciones no climatizadas se considerará su temperatura interior igual a  $\Delta T$ . Puesto que el pasillo no contiene ningún circuito independiente, pero por él discurren todos los demás circuitos, se ha considerado la diferencia de temperatura entre locales calefactados y el pasillo igual a 3°C.

Teniendo en cuenta todo esto, las cargas térmicas de transmisión a través de los cerramientos quedan distribuidas de la siguiente manera:



ESPACIO: Planta Baja							
Cerramiento por habitación	Longitud (m)	Altura (m)	Superficie (m <sup>2</sup> )	Deducción (m <sup>2</sup> ) por ventana	U (W/m <sup>2</sup> K)	Δt (° C)	Q (W)
<b>DORMITORIO 1 (D1)</b>							
Pared O	7,16	3,30	23,63	2,70	0,36	25,15	187,31
Pared N	4,02	3,30	13,27		0,36	25,15	118,73
Pared a pasillo	2,88	3,30	9,50		2,22	3,00	63,36
Ventana E	1,80	1,50	2,70		1,40	25,15	95,07
Suelo ,forjado			37,67		0,46	16,12	279,37
<b>TOTAL D1</b>							<b>743,84</b>
<b>DORMITORIO 2 (D2)</b>							
Pared E	4,20	3,30	13,86	2,70	0,36	25,15	99,86
Pared N	5,03	3,30	16,60		0,36	25,15	148,53
Pared a pasillo	5,03	3,30	16,60		2,22	3,00	110,66
Ventana E	1,80	1,50	2,70		1,40	25,15	95,07
Suelo			21,11		0,93	12,70	248,26
<b>TOTAL D2</b>							<b>702,38</b>
<b>SALON (S)</b>							
Pared E	6,00	3,30	19,80	6,88	0,36	25,15	115,66
Pared S	7,20	3,30	23,76	2,85	0,36	25,15	187,11
Pared a pasillo	13,20	3,30	43,56		2,22	3,00	290,40
Ventana E	2,75	2,50	6,88		1,40	25,15	242,07
Ventana S	1,90	1,50	2,85		1,40	25,15	100,35
Suelo			43,20		0,93	12,58	503,04
<b>TOTAL S</b>							<b>1438,63</b>
<b>BAÑO 1 (B1)</b>							
Pared N	3,00	3,30	9,90	0,25	0,36	25,15	86,35
Ventana N	0,50	0,50	0,25		1,40	25,15	8,80
Suelo			12,60		0,93	12,58	146,72
<b>TOTAL B1</b>							<b>241,87</b>
<b>BAÑO 2 (B2)</b>							
Pared N	4,51	3,30	14,88	0,25	0,36	25,15	130,94
Pared a pasillo	4,51	3,30	14,88		2,22	3,00	99,22
Ventana N	0,50	0,50	0,25		1,40	25,15	8,80
Suelo			18,95		0,93	12,58	220,66
<b>TOTAL B2</b>							<b>459,63</b>
<b>COCINA (CO)</b>							
Pared O	4,16	3,30	13,73	3,80	0,36	25,15	88,84
Pared S	7,10	3,30	23,43	3,80	0,36	25,15	175,66
Pared Pasillo	4,16	3,30	13,73		2,22	3,00	91,52
Ventana O	1,90	2,00	3,80		1,40	25,15	133,80
Ventana S	1,90	2,00	3,80		1,40	25,15	133,80
Suelo			29,54		0,93	12,58	343,98
<b>TOTAL CO</b>							<b>967,59</b>
<b>PASILLO 1 (P1)</b>							
Suelo			21,27		0,93	12,58	247,68
<b>TOTAL Pasillo 1</b>							<b>247,68</b>
<b>Qt (W) TOTAL Planta Baja</b>							<b>4801,61</b>
<b>Qt (kW) TOTAL Planta Baja</b>							<b>4,80</b>

Cerramiento por habitación	Longitud (m)	Altura (m)	Superficie (m <sup>2</sup> )	Deducción (m <sup>2</sup> ) por ventana	U (W/m <sup>2</sup> K)	Δt (° C)	Q (W)
<b>DORMITORIO 3 (D3)</b>							
Pared O	6,84	3,30	22,57	2,70	0,36	25,15	177,82
Pared N	5,78	3,30	19,07		0,36	25,15	170,68
Pared Trastero	4,91	3,30	16,20		1,15	4,71	87,77
Pared a Pasillo	3,65	3,30	12,05		2,22	3,00	80,30
Ventana O	1,80	1,50	2,70		1,40	25,15	95,07
Techo, cubierta			45,80		0,35	25,15	404,16
<b>TOTAL D3</b>							<b>1015,80</b>
<b>DORMITORIO 4 (D4)</b>							
Pared E	4,42	3,30	14,59	2,70	0,36	25,15	106,36
Pared N	6,00	3,30	19,80		0,36	25,15	177,18
Pared a pasillo	1,02	3,30	3,37		2,22	3,00	22,44
Pared a Trastero	1,80	3,30	5,94		1,15	4,71	32,18
Ventana E	1,80	1,50	2,70		1,40	25,15	95,07
Techo, cubierta			26,49		0,35	25,15	233,76
<b>TOTAL D4</b>							<b>666,98</b>
<b>DORMITORIO 5 (D5)</b>							
Pared E	4,20	3,30	13,86	2,85	0,36	25,15	98,52
Pared S	4,20	3,30	13,86		0,36	25,15	124,02
Pared a Pasillo	2,94	3,30	9,70		2,22	3,00	64,68
Ventana E	1,90	1,50	2,85		1,40	25,15	100,35
Techo, cubierta			25,30		0,35	25,15	223,26
<b>TOTAL D5</b>							<b>610,84</b>
<b>BAÑO 3 (B3)</b>							
Pared E	2,83	3,30	9,34	0,25	0,36	25,15	81,33
Pared a Pasillo	2,83	3,30	9,34		2,22	3,00	62,26
Ventana SO	0,50	0,50	0,25		1,40	25,15	8,80
Techo, cubierta			16,97		0,35	25,15	149,75
<b>TOTAL B3</b>							<b>158,56</b>
<b>BAÑO 4 (B4)</b>							
Pared S	3,50	3,30	11,55		0,36	25,15	103,35
Pared a Pasillo	2,41	3,30	7,95		2,22	12,58	222,24
Techo, cubierta			6,30		0,35	25,15	55,59
<b>TOTAL B4</b>							<b>55,59</b>
<b>TRASTERO (T)</b>							
Pared N	4,86	3,30	16,04		0,36	25,15	143,51
Techo, cubierta			15,11		0,35	25,15	133,34
<b>TOTAL TR</b>							<b>133,34</b>
<b>SALA DE JUEGOS (SJ)</b>							
Pared O	4,48	3,30	14,78		0,36	25,15	132,29
Pared S	4,41	3,30	14,55	2,85	0,36	25,15	104,72
Pared a Pasillo	2,60	3,30	8,58		2,22	3,00	57,20
Ventana S	1,90	1,50	2,85		1,40	25,15	100,35
Techo, cubierta			31,55		0,35	25,15	278,41
<b>TOTAL SJ</b>							<b>672,98</b>
<b>PASILLO 2 (P2)</b>							
Techo, cubierta			16,91		0,35	25,15	149,22
<b>TOTAL Pasillo 2</b>							<b>149,22</b>
<b>Qt (W) TOTAL Planta Alta</b>							<b>3463,31</b>
<b>Qt (kW) TOTAL Planta Alta</b>							<b>3,46</b>
<b>Qt (kW) TOTAL VIVIENDA</b>							<b>8,26</b>

Tabla 15. Cargas térmicas a través de los cerramientos [Hoja de cálculo propia]

### 1.3.2.2 Cargas térmicas de ventilación

Se procederá igual que en el caso de refrigeración, y como hemos mencionado antes, para calefacción solo existirá ventilación sensible.

La expresión que nos permitirá calcular dicho valor es la siguiente:

$$Q_v = \dot{V} \cdot c_p \cdot \rho \cdot \Delta T$$

Dónde:

- $Q_v$  es la carga térmica de ventilación sensible [W].
- $\dot{V}$  es el caudal del aire de ventilación [l/s].
- $c_p$  es el calor específico del agua [1000 J/kg·°C].
- $\rho$  es la densidad del aire [0,00129 kg/l].
- $\Delta T$  es la variación de la temperatura entre el aire interior y el aire exterior [°C].

Local	Caudal aire (m <sup>3</sup> /h)	Q <sub>v</sub> (W)
D1	51,178	461,217
D2	51,178	461,217
D3	51,178	461,217
D4	51,178	461,217
D5	51,178	461,217
S	108,000	973,305
SJ	64,800	583,983
<b>TOTAL</b>		<b>3863,372</b>

Tabla 16. Carga térmica de ventilación [Hoja de cálculo propia]

## 1.4 Resumen de cargas térmicas

Teniendo en cuenta todo lo anterior, las cargas térmicas en función del tipo y el total de las mismas para cada época del año, quedaría de la siguiente manera:

Tipo de carga térmica	Refrigeración (kW)	Calefacción (kW)
Carga térmica de transmisión a través de cerramientos	3,321	8,265
Carga térmica de Radiación a través de cerramientos	1,882	3,863
Carga térmica de radiación a través de los vidrios	1,219	-
Carga térmica de Ventilación	3,491	-
Carga térmica de Iluminación	0,044	-
Carga térmica de Ocupación	3,400	-
Carga térmica de Equipos	1,304	-
<b>TOTAL</b>	<b>14,661</b>	<b>12,128</b>

Tabla 17. Resumen cargas térmicas [Hoja de cálculo propia]



## 1.5 Caudales de ventilación

Teniendo en cuenta la Norma ya comentada en la memoria, en el apartado 6 “Justificación del cumplimiento de la exigencia de calidad del aire interior” y que establece el caudal mínimo exigido por persona, como podemos volver a observar a continuación, comenzaremos a calcular dichos caudales.

Caudales de ventilación mínimos exigidos			
Caudal de ventilación mínimo exigido $q_v$ en l/s			
		Por ocupante	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 <sup>(1)</sup>
	Trasteros y sus zonas comunes		0,7
	Aparcamientos y garajes		120 por plaza
	Almacenes de residuos		10

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

Tabla 18. Caudales de ventilación mínimos exigidos [DB-HS-3]

Para ello diferenciaremos entre admisión (locales secos) y extracción (locales húmedos). Posteriormente realizaremos un equilibrado si fuera necesario, para asegurarnos que el aire que entra es igual al aire que sale. Pudiendo ser el caudal de admisión un 10% mayor que el caudal de extracción. En nuestro caso de estudio, serán iguales.

- Caudal de admisión:

Local	Pers.	Caudal por persona (m <sup>3</sup> /h)	Caudal Total (m <sup>3</sup> /h)
D1	2	18	36
D2	2	18	36
D3	2	18	36
D4	2	18	36
D5	2	18	36
S	10	10,8	108
SJ	6	10,8	64,8
<b>TOTAL</b>			<b>352,8</b>

Tabla 19. Caudales de admisión [Hoja de cálculo propia]

- Caudal de extracción:

Local	Por local (m <sup>3</sup> /h)	Caudal por m <sup>2</sup>	Caudal Total (m <sup>3</sup> /h)
B1	54		54
B2	54		54
B3	54		54
B4	54		54
CO (29,54m <sup>2</sup> )		7,2	212,688
<b>TOTAL</b>			<b>428,688</b>

Tabla 20. Caudales de extracción [Hoja de cálculo propia]

Como podemos observar, tenemos una diferencia entre la admisión y la extracción de 75,88 m<sup>3</sup>/h, lo que nos indica que debemos realizar un equilibrado. Para ello, hemos decidido repartir dicho caudal entre los cinco dormitorios de forma equitativa, quedando los caudales de admisión una vez equilibrados de la siguiente manera:

- Admisión de aire equilibrado:

Local	Equilibrado (m <sup>3</sup> /h)	Caudal Total (m <sup>3</sup> /h)
D1	15,178	51,178
D2	15,178	51,178
D3	15,178	51,178
D4	15,178	51,178
D5	15,178	51,178
S		108,000
SJ		64,800
<b>TOTAL</b>		<b>428,688 m<sup>3</sup>/h</b>

Tabla 21. Caudales de admisión equilibrado [Hoja de cálculo propia]

Una vez conocido el caudal de admisión y extracción, veremos con cuanta frecuencia se renovará el aire por local. Para ello, basta con dividir el caudal obtenido en cada local entre su volumen. Los resultados son los siguientes:

Local	Superficie (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Caudal de aire (m <sup>3</sup> /h)	Renov/h
D1	37,670	124,311	51,178	0,412
D2	21,110	69,663	51,178	0,735
D3	45,800	151,140	51,178	0,339
D4	26,490	87,417	51,178	0,585
D5	25,300	83,490	51,178	0,613
S	43,200	142,560	108,000	0,758
SJ	31,550	104,115	64,800	0,622

Tabla 22. Renovaciones del aire por unidad de tiempo [Hoja de cálculo propia]

## 1.6 Cálculos de aberturas

Para obtener las aberturas, una vez conocidos los caudales, y siguiendo el CTE, bastaría con instalar las rejillas de las dimensiones que aparecen a continuación.

Las expresiones utilizadas han sido las siguientes:

- Aberturas de admisión/extracción:

$$Sección [m^2] = 4 \cdot Q_{aire} [l/s]$$

- Aberturas de paso:

$$Sección [m^2] = 8 \cdot Q_{aire} [l/s]$$

Con todo esto, nuestras aberturas presentarán las siguientes dimensiones:

Local	Caudal de aire (m <sup>3</sup> /h)	Caudal de aire (l/s)	Admisión/Extracción	Paso
			Sección (cm <sup>2</sup> )	Sección (cm <sup>2</sup> )
D1	51,178	14,216	56,864	113,728
D2	51,178	14,216	56,864	113,728
D3	51,178	14,216	56,864	113,728
D4	51,178	14,216	56,864	113,728
D5	51,178	14,216	56,864	113,728
S	108	30	120	240
SJ	64,8	18	72	144
B1	54	15	60	120
B2	54	15	60	120
B3	54	15	60	120
B4	54	15	60	120
CO	212,688	59,08	236,32	472,64

Tabla 23. Secciones de aberturas de ventilación [Hoja de cálculo propia]

## 2 PRODUCCIÓN DE ACS

En este apartado calcularemos todos los elementos que conforman nuestra instalación de ACS así como la potencia térmica total.

### 2.1 Caudal de ACS

Primeramente comenzaremos calculando el caudal necesario para abastecer las necesidades en todo momento. Para ello nos fijaremos en los caudales de cada aparato que necesita de agua caliente según nos marca el DB HS4 y que se muestran a continuación:

Tipo de aparato	Caudal instantáneo mínimo de agua fría [dm <sup>3</sup> /s]	Caudal instantáneo mínimo de ACS [dm <sup>3</sup> /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 24. Caudal instantáneo mínimo para cada tipo de aparato [DB HS4]

En lo que a nuestra vivienda se refiere, la distribución de los caudales quedaría de la siguiente manera:

Local	Aparato	l/s
Cocina	Lavadora	0,15
	Lavavajillas	0,1
	Fregadero	0,1
Baño 1	Bidé	0,065
	Ducha	0,1
	Lavabo	0,03
Baño 2	Bidé	0,065
	Ducha	0,2
	Lavabo	0,03
Baño 3	Bidé	0,065
	Ducha	0,2
	Lavabo	0,03
Baño 4	Ducha	0,1
	Lavabo	0,03
<b>Qt</b>		<b>1,265</b>

Tabla 25. Caudales de ACS [Hoja de cálculo propia]

Como podemos apreciar en la tabla, el caudal total de nuestra instalación de ACS la recorrerán **1,265 l/s**.

## 2.2 Dimensionado de las redes de distribución

Siguiendo el DB HS4, para calcular la sección de las tuberías debemos fijar unos coeficientes de simultaneidad, puesto que es prácticamente improbable que todos los grifos se encuentren

abiertos a la vez.

Estos coeficientes los encontramos en la siguiente tabla obtenida de la “Guía Técnica de Agua Caliente Sanitaria Central”.

Tipo de edificio	Caudales (l/s)		Coeficientes		
	$Q_t$	$Q_e$	A	B	C
Viviendas	<0,5	≤20	0,682	0,450	-0,140
	≥0,5	≤1	1,000	1,000	0,000
	→ Sin límite	≤20	1,700	0,210	-0,700
	→ Sin límite	>20	1,700	0,210	-0,700

Tabla 26. Coeficientes simultaneidad uso de ACS [Guía Técnica de Agua Caliente Sanitaria Central]

Según dicho manual, el uso de estos coeficientes corresponde a la siguiente expresión:

$$Q_{sim} = A \cdot Q_t^B + C$$

Extrayendo los coeficientes de la tabla anterior y conociendo el caudal total, el caudal simultáneo de nuestra instalación es de **1,082 l/s**.

Para conocer el diámetro de la tubería emplearemos la ya más que conocida expresión:

$$Q = v \cdot A$$

Por lo que para obtener el diámetro necesitaremos primeramente establecer el valor de la velocidad. Para ello seguiremos la recomendación del DB, en el cual nos recomiendan que dicho valor se encuentre entre 0,5 y 3,5 m/s, por lo que nosotros la fijaremos en 2 m/s.

Despejando de nuestra ecuación anterior obtenemos un diámetro de 26,2 mm, siendo el siguiente normalizado de **32 mm**.

La longitud total del trazado es de **17,5m**.

### 2.3 Pérdidas de carga

Ahora calcularemos las pérdidas de carga en el circuito de ACS, con el fin de poner seleccionar una bomba que sea capaz de impulsar el caudal total.

Para dicho cálculo partiremos de la siguiente fórmula:

$$H_B = L_T \cdot H_{cl} + \sum k \cdot \left( \frac{v^2}{2 \cdot g} \right) + (z_2 - z_1)$$

Dónde:

- $L_T$  es longitud total del circuito [m].
- $H_{cl}$  es la pérdida de carga por metro lineal de tubería [kPa/m].
- $K$  es el factor de pérdida característico de cada elemento.
- $(z_2 - z_1)$  es la pérdida por altura piezométrica [m].

Para el primer término, la pérdida de carga en cada uno de los circuitos, emplearemos la conocida ecuación de Darcy: [26]

$$\Delta P = \frac{\rho \cdot f \cdot L \cdot v^2}{2 \cdot D}$$

Dónde:

- $\rho$  es la densidad del fluido [ $\text{kg/m}^3$ ].
- $f$  es el factor de fricción.
- $L$  es la longitud de cada circuito [m].
- $v$  es la velocidad del fluido [m/s].
- $D$  es el diámetro interior de la tubería [m].

Como vemos, antes de poder entrar en dicha expresión nos es necesario conocer el factor de fricción, el cual depende del régimen del fluido que vendrá determinado por el número de Reynolds (visto anteriormente). El  $Re$  de este fluido es de 64.000, es decir, nos encontramos en un régimen turbulento. Teniendo en cuenta esto, el factor de fricción lo obtendremos por medio de la ecuación de Karmann-Prandtl:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log\left(\frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{f}}\right)$$

Iterando en esta expresión, el valor obtenido para el factor de fricción es 0,0359.

Una vez conocidos todos los parámetros que intervienen en la ecuación de Darcy, podremos sustituir y obtenemos un valor de 39,33 kPa, es decir, 4,014m.

Las pérdidas debidas a los accesorios las estimaremos en 0,5% de las pérdidas primarias, es decir, 0,02m.

Por último, la pérdida por altura piezométrica es igual a 3,3m.

Con todo esto, obtenemos unas pérdidas de carga en nuestra instalación de **7,314 m**.

## 2.4 Selección de la bomba de circulación

Para seleccionar la bomba correcta acudimos al catálogo de nuestro proveedor Wilo, y buscamos una bomba de ACS capaz de vencer los 7,314 m, aunque seleccionaremos una teniendo en cuenta un pequeño factor de seguridad.

Para seleccionarla acudimos a su curva característica con los valores indicados, el caudal en  $\text{m}^3/\text{h}$  (en nuestro caso 3,89) y la altura (7,34m).

La bomba que más se ajusta a nuestro criterio es la bomba **Wilo-Stratos-Z 40/1-8**, cuya curva característica vemos a continuación:

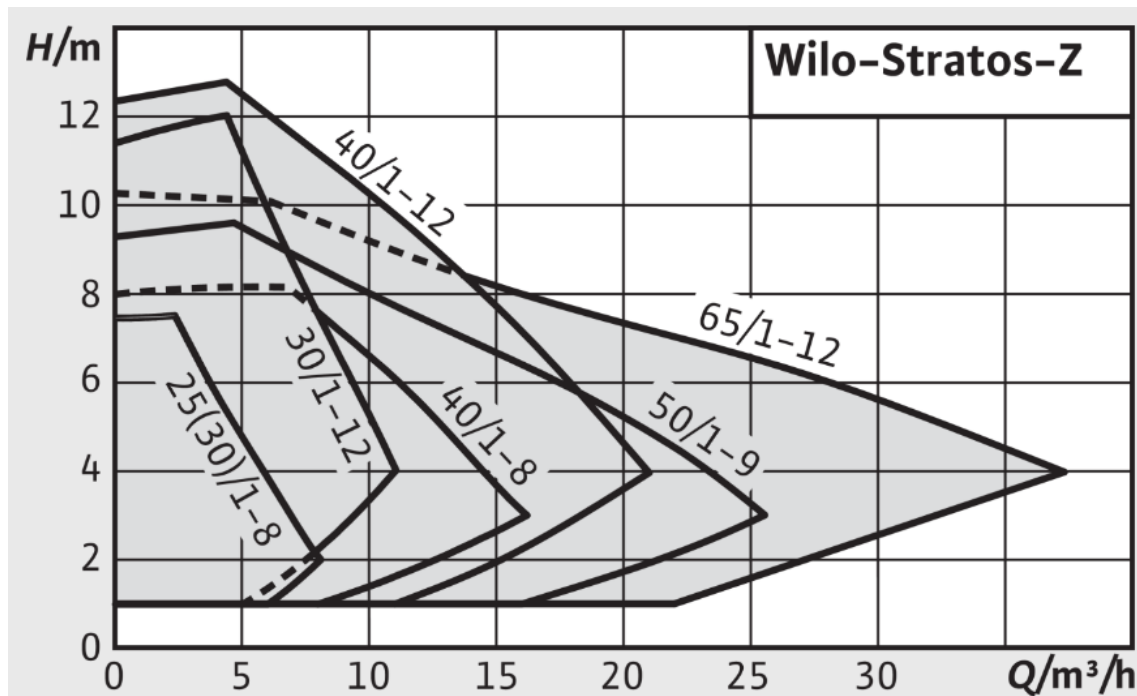


Figura 8. Curva característica bomba de impulsión seleccionada [www.wilo.com – Agosto 2016]

## 2.5 Volumen del depósito de acumulación

Para obtener el volumen que tendrá el depósito de acumulación que instalemos, primeramente debemos conocer el volumen de nuestra instalación total. Para ello recurriremos al Documento Básico de Ahorro Energético (DB HE 4) en el cual encontraremos la demanda de ACS por persona y día en función del tipo de local, en nuestro caso, vivienda unifamiliar.

Criterio de demanda	Litros ACS/día a 60° C	
Viviendas unifamiliares	30	por persona
Viviendas multifamiliares	22	por persona
Hospitales y clínicas	55	por cama
Hotel ****	70	por cama
Hotel ***	55	por cama
Hotel/Hostal **	40	por cama
Camping	40	por emplazamiento
Hostal/Pensión *	35	por cama
Residencia (ancianos, estudiantes, etc)	55	por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15	por servicio
Escuelas	3	por alumno
Cuarteles	20	por persona
Fábricas y talleres	15	por persona
Administrativos	3	por persona
Gimnasios	20 a 25	por usuario
Lavanderías	3 a 5	por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10	por comida
Cafeterías	1	por almuerzo

Tabla 27. Demanda de referencia a 60°C [DB HE 4]

El DB HE 4 también establece para dicho cálculo, el número de persona que harán uso del ACS en función del número de habitaciones, como se muestra en la siguiente imagen.

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	7	más de 7
Número de Personas	1,5	3	4	6	7	8	9	Nº de dormitorios

Tabla 28. Número de personas por vivienda [DB HE 4]

Teniendo en cuenta estos datos, concluimos con que la demanda total de ACS para nuestra vivienda asciende a **210 l/día**.

Teniendo en cuenta esto y estimando que la probabilidad con la que el gasto instantáneo sea igual al total, hemos decidido instalar un acumulador de acero inoxidable con una capacidad de **150l**. Éste será de la marca Baxi y sus dimensiones serán 983x620 mm.

## 2.6 Vaso de expansión

El vaso de expansión se instalará para evitar sobrepresiones en la instalación, ya que es el encargo de absorber la presión del agua cuando ésta se caliente y se expande, de esta forma protegeremos la instalación.

El volumen del vaso de expansión se calculará a través de la siguiente fórmula:

$$V_T = \frac{P_a \cdot (V \cdot C_e)}{P_a - P_b}$$

Dónde:

- $V_T$  es el volumen total del depósito [l]
- $P_a$  es la presión absoluta máxima de trabajo (< tarado de la válvula de seguridad)
- $P_b$  es la presión absoluta mínima, la de la altura manométrica
- $V$  es el volumen de agua de la instalación [l]
- $C_e$  es el coeficiente de expansión del agua, para una temperatura media de 60 °C

Para dimensionarlo es necesario conocer el caudal total que circula por toda nuestra instalación de climatización, para ello nos valdremos de esta simple expresión:

$$V = S \cdot L$$

Dónde:

- $S$  es la sección de la tubería [m<sup>2</sup>].
- $L$  es la longitud de la tubería [m].



Con todo esto, el caudal de nuestra instalación es de **41,26 l**.

El coeficiente de expansión del fluido lo obtendremos por medio de la siguiente expresión.

$$c_e = (-33,48 + 0,738 \cdot T) \cdot 10^{-3}$$

Dónde:

- T es la temperatura del fluido [°C].

La temperatura del fluido es de 60 °C.

Teniendo en cuenta que la presión absoluta máxima es 2,5 bar (en función de nuestra válvula de seguridad seleccionada) y nuestra presión mínima es 1 bar nos sale que **no es necesaria la instalación de un vaso de expansión**.

## 2.7 Potencia de ACS

Otro factor que resulta importante a la hora de poder obtener la potencia total es el factor de uso del acumulador, ya que al existir una zona de mezcla de agua entre la fría y la caliente la cual no alcanzará la temperatura final de uso y por lo tanto no podrá ser utilizada.

La expresión que estima dicho factor en función de las dimensiones del acumulador es la siguiente:

$$f_{uso\ acum} = 0,63 + 0,14 \cdot \frac{H}{D}$$

Dónde:

- H es la altura del acumulador [mm].
- D es el diámetro del acumulador [mm].

Conociendo las dimensiones que han sido mencionadas anteriormente, el factor de uso de nuestro acumulador equivale a **0,852**.

La expresión final que arroja el resultado de la potencia es la siguiente:

$$P = [Q_{punta} \cdot (T_{ACS} - T_{AFCH}) - V_{acum} \cdot (T_{acum} - T_{AFCH}) \cdot f_{uso\ acum}] \cdot 1,16$$

Dónde:

- $Q_{punta}$  es la demanda total de ACS [l].
- $T_{ACS}$  es la temperatura de utilización de ACS [°C].
- $T_{AFCH}$  es la temperatura del agua de la red [°C].
- $V_{acum}$  es el volumen del acumulador [l].
- $T_{acum}$  es la temperatura de acumulación del agua [°C].

Para conocer la temperatura del agua de la red acudiremos a la Norma UNE 94002/95 en la cual se nos proporciona dicho valor en función de la ciudad en la que nos encontremos.

Temperatura del agua de la red (°C)													Media
Mínimas	5	6	7	9	11	13	15	2	14	11	7	6	10
Máximas	15	15	16	16	17	19	21	21	20	18	17	16	17
Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Lérida	7	9	10	12	15	17	20	19	17	14	10	7	13
Logroño	7	8	10	11	13	16	18	18	16	13	10	8	12
Lugo	7	8	9	10	11	13	15	15	14	12	9	8	11
<b>Madrid</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>17</b>	<b>20</b>	<b>19</b>	<b>17</b>	<b>13</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>13</b>
Málaga	12	12	13	14	16	18	20	20	19	16	14	12	16
Murcia	11	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11	15
Orense	8	10	11	12	14	16	18	18	17	13	11	9	13
Oviedo	9	9	10	10	12	14	15	16	15	13	10	9	12
Palencia	6	7	8	10	12	15	17	17	15	12	9	6	11
P. de Mallorca	11	11	12	13	15	18	20	20	19	17	14	12	15
Pamplona	7	8	9	10	12	15	17	17	16	13	9	7	12
Pontevedra	10	11	11	13	14	16	17	17	16	14	12	10	13
Salamanca	6	7	8	10	12	15	17	17	15	12	8	6	11
San Sebastián	9	9	10	11	12	14	16	16	15	14	11	9	12
Santander	10	10	11	11	13	15	16	16	16	14	12	10	13
Segovia	6	7	8	10	12	15	18	18	15	12	8	6	11
Sevilla	11	11	13	14	16	19	21	21	20	16	13	11	16
Soria	5	6	7	9	11	14	17	16	14	11	8	6	10
Tarragona	10	11	12	14	16	18	20	20	19	16	12	11	15
S. C. de Tenerife	15	15	16	16	17	18	20	20	20	18	17	16	17
Teruel	6	7	8	10	12	15	18	17	15	12	8	6	11
Toledo	8	9	11	12	15	18	21	20	18	14	11	8	14
Valencia	10	11	12	13	15	17	19	20	18	16	13	11	15
Valladolid	6	8	9	10	12	15	18	18	16	12	9	7	12
Vitoria	7	7	8	10	12	14	16	16	14	12	8	7	11
Zamora	6	8	9	10	13	16	18	18	16	12	9	7	12
Zaragoza	8	9	10	12	15	17	20	19	17	14	10	8	13

Tabla 29. Temperatura del agua de la red [Norma UNE 94002/95]

Como observamos, la temperatura mínima que tendremos en la ciudad de Madrid es de 8 °C.

La temperatura de del agua acumulada la elevaremos hasta los 70°C, para que teniendo en cuenta las pérdidas a lo largo del trayecto podamos alcanzar aun así los 60°C de uso.

Una vez definidos todos los parámetros de nuestra instalación de ACS y sustituyéndolos en la expresión citada anteriormente, obtenemos una potencia de **3,476 kW**.

### 3 CÁLCULOS INSTALACIÓN GEOTÉRMICA

En este capítulo, justificaremos todos los elementos que conformarán nuestra instalación



geotérmica. Para ello, nos apoyaremos en la “Guía Técnica de Diseño de sistemas intercambio geotérmicos de circuito cerrado” que establece el IDAE.

### 3.1 Selección de la bomba geotérmica

Para seleccionar una bomba de calor geotérmica que se ajuste a nuestras condiciones de proyecto, debemos fijarnos en varias cosas:

- a) Que cubra nuestras necesidades de demanda térmica tanto en verano como en invierno, además del gasto de ACS.
- b) Que sea capaz de invertir su ciclo, es decir, que funcione tanto para calefacción como para refrigeración.
- c) Que tenga un rendimiento elevado, el cual vendrá especificado por el COP (coefficient of permance) cuando se trate de su funcionamiento en modo calefacción, y el EER (Energy Efficiency Ratio) cuando lo haga en modo refrigeración.
- d) Que sea capaz de abastecer el sistema de A.C.S (Agua Caliente Sanitaria) con un sistema incorporado dentro de la propia bomba.

Con todo esto, la bomba de calor escogida es la bomba “**Logatherm WPS 16R**”, del fabricante Buderus, cuya ficha técnica observamos a continuación:

Logatherm WPS	WPS 9 RM	WPS 12 RM	WPS 16 R	WPS 20 R	WPS 23 R	WPS 33 R
Potencia calorífica (W10/W35)	9,2	11,7	16,0	19,8	23,0	33,3
Potencia absorbida	2,3	2,8	3,5	4,4	4,9	7,3
COP	3,92	4,18	4,57	4,50	4,69	4,56
Potencia calorífica (W10/W45)	9,0	11,3	15,3	18,8	21,9	32
Potencia absorbida	3,0	3,6	4,4	5,6	6,2	9
COP	3,00	3,14	3,48	3,36	3,53	3,56
Potencia frigorífica (W30/W18)	11,7	14,8	20,9	26,3	30,1	43,9
Potencia absorbida	2,6	3,3	4,2	5,4	6,1	8,9
EER	4,50	4,48	4,98	4,96	4,93	4,93
Potencia frigorífica (W30/W7)	8,7	11	15,4	19,5	22,5	32,7
Potencia absorbida	2,6	3,2	4,1	5,1	5,8	8,4
EER *	3,35	3,44	3,76	3,82	3,88	3,85
Caudal de agua lado instalación	1,6	2,0	2,8	3,4	4,0	5,8
Contenido mínimo de agua en la instalación	44	56	80	100	115	170
Presión disponible residual lado instalación	95	92	84	158	150	163
Caudal de agua lado agua sanitaria	2,20	2,80	3,90	4,80	5,70	8,20
Presión disponible residual lado agua sanitaria	76	142	119	174	149	213
Conexiones hidráulicas	3/4"	1" 1/4	1" 1/4	1" 1/4	1" 1/4	1" 1/4
Válvula seguridad lado instalación	6					
Vaso de expansión	2		8			
Tipo de compresor	SCROLL					
Número de compresores	1					
Número de circuitos frig.	1					
Refrigerante R410A	1,24	1,55	1,7	2,65	3,1	3,7
Aceite Mobil EAL ARTIC22cc	1,25	1,24	1,89	2,51	3,25	3,25
Tipo bomba lado instalación	circuladora		centrífuga			
Tipo bomba lado fuente	circuladora		centrífuga			
Alimentación eléctrica	230V-50Hz		400V-3N-50Hz			
Potencia sonora	59	63	63	63	63	64
Presión sonora	45	49	49	49	49	49
Peso en funcionamiento	152	160	175	220	230	250

Nota:  
 (1) Funcionamiento en calefacción: Temperatura agua instalación entrante 30 °C y saliente 35 °C, temperatura agua fuente entrante a 0 °C y saliente a -3 °C  
 (2) Funcionamiento en recuperación: Temperatura agua instalación entrante 40 °C y saliente 50 °C, temperatura agua fuente entrante a 0 °C y saliente a -3 °C  
 (3) Funcionamiento en refrigeración: Temperatura agua instalación entrante 23 °C y saliente 18 °C, temperatura agua fuente entrante a 30 °C y saliente a 35 °C  
 (4) Funcionamiento en refrigeración: Temperatura agua instalación entrante 12 °C y saliente 7 °C, temperatura agua fuente entrante a 30 °C y saliente a 35 °C  
 (5) Potencia sonora referida a mediciones realizadas de acuerdo con las normativas ISO 9614 y Eurovent A/1.  
 (6) Presión sonora referida a 1 m de distancia de la superficie exterior de la unidad, funcionando en campo abierto.

Figura 9. Ficha técnica bomba geotérmica [http://www.buderus.es/- Diciembre 2015]

### 3.2 Fluido circulante

El fluido seleccionado es una mezcla de agua (70%) y propilenglicol (30%). El hecho de incluir parcialmente anticongelante tiene como objetivo disminuir considerablemente el punto de ebullición y evitar posibles averías en un futuro.

Las propiedades de la mezcla son las que se adjuntan en la siguiente tabla, y serán con las que trabajaremos en todo momento:

Fabricante	Agua + Propilenglicol al 30%
Densidad a 20°C (kg/m³)	863
Punto de congelación (30% volumen)	-12
Punto de ebullición, °C	187
Calor específico a 15°C (J/Kg·K)	2503,71
Viscosidad a 0°C (Pa·s)	0,243
Viscosidad a 20°C (Pa·s)	0,0605
Viscosidad a 40°C (Pa·s)	0,0180
Conductividad a 20°C (W/m·K)	0,2

Tabla 30. Propiedades del fluido circulante [TFG Climatización de un edificio de oficinas mediante energía

### 3.3 Configuración a escoger y elección de los tubos

Como ya se ha descrito en el punto 2.1.4 de la Memoria Descriptiva del proyecto, nuestra instalación geotérmica está definida de la siguiente manera:

- Configuración vertical.
- Trayectoria en paralelo.
- Instalación tipo U-Simple.
- Tubos de PE100 y  $\phi 40$ .

Tal y como se representa gráficamente en la siguiente imagen:

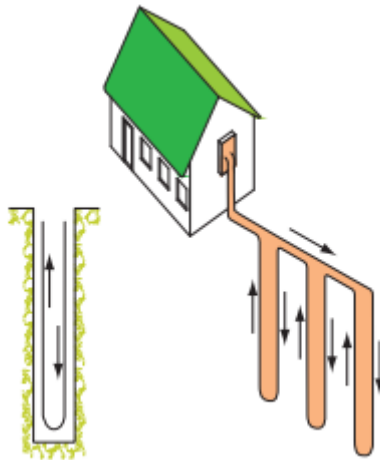


Figura 10. Configuración seleccionada para nuestro sistema geotérmico [Guía técnica de diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado]

No obstante, veremos si dicha configuración y dimensionado es óptima para nuestra instalación o si por el contrario hubiera que modificar alguno de esos valores.

### 3.4 Caudal a través de los tubos

Para obtener el caudal que circule a través de los tubos, hay que tener en cuenta que tiene que asegurar que el fluido se encuentre en régimen turbulento, es decir, que su Reynolds ( $Re$ ) sea mayor a 2300. El motivo por el cual nos interesa que se encuentre en dicho régimen es que favorece la transferencia de calor entre el fluido y el suelo.

El número de Reynolds responde a la siguiente expresión:

$$Re = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \vartheta \cdot D}$$

Dónde:

- Re es el número de Reynolds (adimensional).
- Q el caudal ( $m^3/s$ ).
- $\vartheta$  la viscosidad cinemática ( $m^2/s$ ).
- D el diámetro de la tubo (m).

Antes de calcular el caudal, nos damos cuenta de que no poseemos la viscosidad cinemática ( $\vartheta$ ) del fluido caloportador, pero sí la viscosidad dinámica ( $\mu$ ). Existe una expresión que, a través de la densidad del fluido, relaciona ambas magnitudes. Es la siguiente:

$$\vartheta = \frac{\mu}{\rho} = \frac{0.0605 [Pa \cdot s]}{863 \left[\frac{kg}{m^3}\right]} = 7,01 \cdot 10^{-5} \frac{m^2}{s}$$

De esta forma, despejando Q en la fórmula de Reynolds resulta un caudal mínimo de 0,005065  $m^3/s$ .

Para asegurarnos que nos mantenemos siempre en el régimen laminar, aún en posibles casos de pérdidas del fluido a lo largo del tubo, hemos decidido aumentar dicho caudal un 10%.

Finalmente, el **caudal** de fluido que recorrerá nuestros tubos será de **0,0055725  $m^3/s$** , que expresado en l/s resulta 5,5725.

### 3.5 Temperaturas de intercambio

El intercambio de calor vendrá fijado por la diferencia de temperaturas entre el terreno y el fluido que circule por el intercambiador, por lo tanto, para dimensionar el intercambiador de calor enterrado en primer lugar hay que determinar estas temperaturas.

#### 3.5.1 Temperaturas máximas y mínimas del terreno

Las temperaturas máximas ( $T_L$ ) y mínimas ( $T_H$ ) del terreno se obtienen de las siguientes expresiones:

$$T_L(x_s) = T_m - A_s \cdot e^{(-x_s \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot \alpha}})}$$

$$T_H(x_s) = T_m + A_s \cdot e^{(-x_s \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot \alpha}})}$$

Dónde:

- $T_H(x_s)$  es la temperatura máxima del terreno [ $^{\circ}C$ ].
- $T_L(x_s)$  es la temperatura mínima del terreno [ $^{\circ}C$ ].

- $T_m$  es la temperatura media del terreno, que se puede asumir como la temperatura seca media anual de la zona [°C].
- $A_s$  es amplitud anual de la temperatura media diaria. En los sistemas verticales se puede considerar 0.
- $X_s$  es la profundidad [m].
- $\alpha$  es la difusividad térmica del fluido.

Al tratarse de un intercambiador vertical, el segundo sumando, que representa la evolución de la temperatura respecto a la profundidad, se estima en cero, ya que la temperatura a partir de los 15-20 se puede considerar constante.

Por todo, y conociendo la temperatura seca media anual, sabemos estos valores, que en ambos casos será el mismo e igual a 14,9 °C.

### 3.5.2 Temperaturas máximas y mínimas de entrada del fluido a la bomba de calor

En este apartado calcularemos la temperatura mínima de entrada a la bomba de calor, que será en invierno (calefacción) y actuará en el evaporador, mientras que la temperatura máxima se dará en verano (refrigeración) actuando sobre el condensador.

Antes de ello fijaremos las temperaturas de trabajo de nuestros intercambiadores de la bomba de calor en 7 y 35 °C, según establece la ficha técnica de nuestra bomba.

Las expresiones que fijan dichas temperaturas son:

$$T_{salida, calef} = T_{entrada, calec} - \frac{1000 \cdot P_c \cdot \frac{COP_c - 1}{COP_c}}{c_p \cdot \left(\frac{Q}{3600}\right)}$$

$$T_{salida, refr} = T_{entrada, refr} + \frac{1000 \cdot P_f \cdot \frac{COP_f + 1}{COP_f}}{c_p \cdot \left(\frac{Q}{3600}\right)}$$

Dónde:

- $T_{salida, calef}$  es la temperatura de salida del evaporador en invierno [°C]
- $T_{entrada, calec}$  es la temperatura de entrada al evaporador en invierno [°C]
- $T_{salida, refr}$  es la temperatura a la salida del condensador en verano [°C]
- $T_{entrada, refr}$  es la temperatura de entrada al condensador en verano [°C]
- $P_c$  es la potencia capaz de suministrar la bomba para el sistema de calefacción [kW]
- $P_f$  es la potencia capaz de suministrar la bomba para el sistema de refrigeración [kW]
- $COP_c$  es el COP de la bomba para el sistema de calefacción [adimensional]
- $COP_f$  es el COP de la bomba para el sistema de refrigeración [adimensional]
- $C_p$  es el calor específico del fluido refrigerante que circula por la bomba [J/Kg·°C]
- $Q$  es el caudal que circula a través de los tubos [l/h]

Sustituyendo los valores ya conocidos resulta lo siguiente:

- $T_{\text{salida, c}} = 6,104 \text{ } ^\circ\text{C}$
- $T_{\text{salida, f}} = 36,397 \text{ } ^\circ\text{C}$

A partir de aquí, calculamos la temperatura máxima y mínima como la media entre la temperatura de entrada al condensador y la de salida, y la media entre la temperatura de entrada al evaporador y su salida, respectivamente.

Con todo esto, nuestras temperaturas son:

- **$T_{\text{máx}} = 35,698 \text{ } ^\circ\text{C}$**
- **$T_{\text{mín}} = 6,522 \text{ } ^\circ\text{C}$**

### 3.6 Resistencia de los tubos al flujo de calor

La resistencia que oponen los propios tubos al paso del flujo de calor se calculará a través de la fórmula que aparece a continuación.

$$R_p = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot K_p} \cdot \ln\left(\frac{D_0}{D_1}\right)$$

Dónde:

- $D_0$  es el diámetro exterior del tubo [m]
- $D_1$  es el diámetro interior del tubo [m]
- $K_p$  es la conductividad térmica del material del tubo [ W/m·K]

Sustituyendo en la fórmula por nuestros valores, 0,0448 m para el diámetro exterior, 0,040 m el diámetro interior y 0,45 W/m·K la conductividad térmica del tubo de PE, la **resistencia térmica del tubo** equivale a **0,04008 K·m/W**

### 3.7 Resistencia del terreno

La resistencia de la tierra ( $R_s$ ) es la inversa de la conductividad térmica del terreno.

Como ya hemos visto en el punto 3.4 “Estratigrafía del terreno”, sabemos que nuestro subsuelo está compuesto por arcosas, fangos y arenas arcósicas.

Según la siguiente tabla, podemos conocer la conductividad térmica de nuestro terreno, siendo para nuestro caso de estudio de 1,7 W/(m·K).

$$R_s = \frac{1}{K_{\text{suelo}}} = 0,588 \frac{\text{m}\cdot\text{K}}{\text{W}}$$



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

Tabla 31. Valores orientativos de conductividad y capacidad térmica para distintos tipos de materiales [Guía técnica de diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado]

### 3.7.1 Factor de utilización

Para calcular este parámetro adimensional, asumiremos que la carga térmica del edificio sigue una función lineal en función de la temperatura exterior. Para ello, y poder obtener dichas rectas necesitamos dos puntos para cada ciclo.

A lo que el cálculo de las cargas máximas se refiere, recordamos que éstas fueron de 15,31 KW para una temperatura de proyecto de -3,15 °C en el caso de calefacción, y de 14,66 KW con una temperatura de proyecto de 34,45°C para el caso de refrigeración.

Por otro lado, asumiremos que el sistema de calefacción sólo será demandado para temperaturas exteriores superiores a 21°C, mientras que para refrigeración siempre y cuando la temperatura no supere los 16°C. Siendo la carga térmica, fuera de estos rangos, igual a cero.

Por lo tanto, nuestros puntos serán los siguientes:

	Tª (°C)	Carga térmica (KW)
Refrigeración	21	0
	34,45	15,4
Calefacción	16	0
	-3,7	16

Tabla 32. Valores de referencia de nuestro sistema

A partir de esta tabla de valores, obtendremos la siguiente gráfica que regirá nuestro sistema.

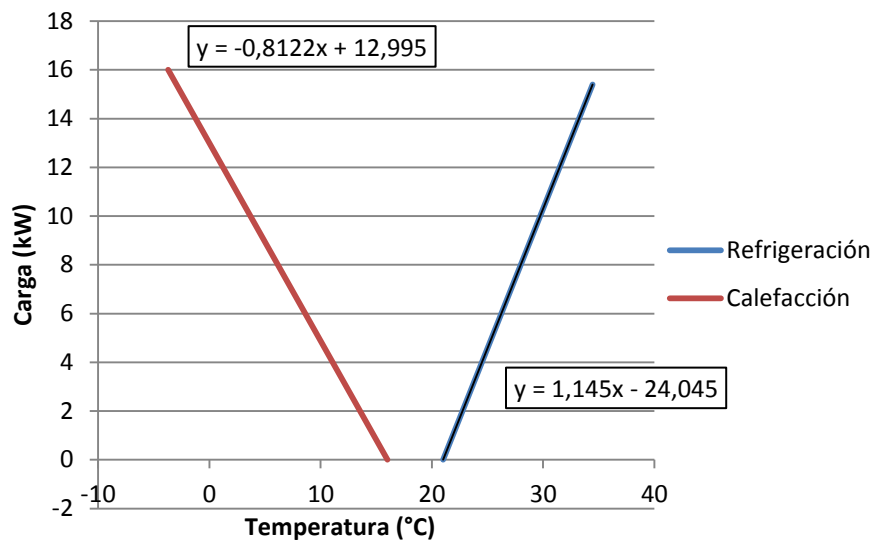


Figura 11. Gráfica del comportamiento de nuestra instalación.

Es importante apuntar que se ha estimado el uso de la calefacción para los meses de diciembre, enero y febrero (2160 horas en total) y los meses de junio, julio, agosto y septiembre (2928 horas) para el uso de refrigeración.

A partir de todo lo anteriormente mencionado y teniendo en cuenta el rendimiento de la bomba de calor para cada intervalo de temperatura, obtenemos un valor de **0,3388** para el sistema de **refrigeración**, y de **0,4018** para **calefacción**.

### 3.8 Cálculo de la longitud del intercambiador geotérmico

Una vez que ya hemos calculado todos los parámetros de nuestra instalación podremos calcular la longitud de nuestro intercambiador vertical, tanto para refrigeración como para calefacción, siendo nuestra longitud final la más restrictiva de las obtenidas.

Para ello emplearemos las siguientes expresiones.

Para calefacción:

$$L_{calef} = \frac{Q_{calef} \cdot \frac{COP_{calef} - 1}{COP_{calef}} \cdot (R_p + R_s \cdot F_{calef})}{T_L - T_{min}}$$

Dónde:

- $L_{calef}$  es la longitud del intercambiador para abastecer el sistema de calefacción [m].
- $Q_{calef}$  es la máxima potencia que es capaz de suministrar la bomba de calor en modo calefacción [KW].
- $COP_{calef}$  es el COP de la bomba para el sistema de calefacción [adimensional]
- $R_p$  es la resistencia térmica de los tubos [m·K/W].
- $R_s$  es la resistencia térmica del terreno [m·K/W].
- $F_{calef}$  es el factor de utilización para el sistema de calefacción [adimensional].
- $T_L$  es la temperatura mínima del terreno [°C].
- $T_{min}$  es la temperatura mínima del evaporador [°C].

Y para refrigeración:

$$L_{refri} = \frac{Q_{refri} \cdot \frac{COP_{refri} + 1}{COP_{refri}} \cdot (R_p + R_s \cdot F_{calef})}{T_{max} - T_H}$$

Dónde:

- $L_{refri}$  es la longitud del intercambiador para abastecer el sistema de refrigeración [m]
- $Q_{refri}$  es la máxima potencia que es capaz de suministrar la bomba de calor en modo refrigeración [KW]
- $COP_{refri}$  es el COP de la bomba para el sistema de refrigeración [adimensional]
- $R_p$  es la resistencia térmica de los tubos [m·K/W]
- $R_s$  es la resistencia térmica del terreno [m·K/W]
- $F_{refri}$  es el factor de utilización para el sistema de refrigeración [adimensional]
- $T_H$  es la temperatura máxima del terreno [°C]
- $T_{max}$  es la temperatura máxima del condensador [°C].

Con todo ello nos salen los siguientes valores:

$$L_{calef} = 413,95 \text{ m.}$$

$$L_{refri} = 224,39 \text{ m.}$$

Con esta longitud de intercambiador, realizaremos un total de **3 perforaciones**.

Con todo esto, nuestra instalación geotérmica se podría resumir así:

**3 perforaciones de 69 m y sondas tipo U-Simple PE100 DN40 SDR 17 PN10 equidistantes 8m.**

## 4 CÁLCULOS DE INSTALACIÓN DE SUELO RADIANTE/REFRESCANTE

Para ayudarnos a realizar los cálculos, nos hemos apoyado en el “Manual Técnico de Climatización Invisible” de Uponor, principal fabricante con el que trabajaremos.

### 4.1 Longitud de los tubos

Como ya se ha descrito en la memoria, nuestros circuitos tendrán una disposición en espiral, con un diámetro de tubos de 16x1,8 y un paso de 15cm para todos los locales exceptuando los baños, que serán 10 cm.

La longitud de los circuitos se obtendrá a partir de la siguiente expresión:

$$L = \frac{A}{e} + 2 \cdot l$$

Dónde:

- A es el área de cada recinto a climatizar [m<sup>2</sup>]
- e es el paso entre tubos [m]
- l es la distancia desde el colector al recinto a climatizar [m]

Se podrán observar los valores tomados en cada caso, así como los resultados finales en las siguientes tablas.

Piso	Recinto	Nº circuitos
1	Baño 1	2
	Baño 2	2
	Cocina	2
	Dormitorio 1	3
	Dormitorio 2	2
	Salón	3
2	Baño 3	2
	Baño 4	1

Dormitorio 3	3
Dormitorio 4	2
Dormitorio 5	2
Sala de Juegos	2
<b>Total</b>	<b>26</b>

Tabla 33. Número de circuitos de suelo radiante necesarios para abastecer la demanda térmica [Hoja de cálculo propia]

Debido a las restricciones que nos suponen las cajas de los colectores, los circuitos han sido divididos de la siguiente manera:

Piso	Recinto	Circuito	Superficie (m <sup>2</sup> )	Longitud de cada circuito (m)
1	Baño 1	C.1.1	6,30	69,000
		C.1.2	6,30	69,000
	Baño 2	C.1.3	9,48	96,750
		C.1.4	9,48	96,750
	Cocina	C.1.5	14,77	104,467
		C.1.6	14,77	104,467
	Dormitorio 1	C.2.1	12,56	86,378
		C.2.2	12,56	86,378
		C.2.3	12,56	86,378
	Dormitorio 2	C.2.4	10,56	76,367
		C.2.5	10,56	76,367
	Salón	C.2.6	14,40	100,000
C.2.7		14,40	100,000	
C.2.8		14,40	100,000	
2	Baño 3	C.3.1	8,49	113,133
		C.3.2	8,49	113,133
	Baño 4	C.3.3	6,30	53,300
	Dormitorio 3	C.3.4	15,27	104,444
		C.3.5	15,27	104,444
		C.3.6	15,27	104,444
	Dormitorio 4	C.3.7	13,25	91,300
		C.3.8	13,25	91,300
	Dormitorio 5	C.3.9	12,65	86,833
		C.3.10	12,65	86,833
	Sala de Juegos	C.3.11	15,78	111,667
		C.3.12	15,78	111,667

Tabla 34. Longitud de cada circuito [Hoja de cálculo propia]

## 4.2 Sistema de suelo radiante

Primeramente realizaremos los cálculos para la instalación funcionando en modo calor, es decir, como suelo radiante.



#### 4.2.1 Temperatura del suelo

La temperatura media de la superficie del suelo se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$\dot{Q} = \alpha \cdot (T_{ms} - T_i)$$

Dónde :

- $\dot{Q}$  es el flujo térmico del local a climatizar [ $\text{W}/\text{m}^2$ ].
- $\alpha$  es el coeficiente transmisión de calor del suelo [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ].
- $T_i$  es la temperatura de diseño del local a climatizar [ $^{\circ}\text{C}$ ].
- $T_{ms}$  es la temperatura del suelo [ $^{\circ}\text{C}$ ].

Los valores obtenidos son los siguientes:



Piso	Recinto	Circuito	Superficie (m <sup>2</sup> )	Q (W/m <sup>2</sup> )	e <sub>mortero</sub> (m)	λ <sub>mortero</sub> (m·k/W)	R <sub>mortero</sub> (W/m <sup>2</sup> ·K)	e <sub>azulejo</sub> (m)	λ <sub>azulejo</sub> (m·k/W)	R <sub>azulejo</sub> (W/m <sup>2</sup> ·K)	α	T <sub>i</sub> (°C)	T <sub>ms</sub> (°C)
1	Baño 1	C.1.1	6,3	19,20	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	22	23,477
		C.1.2	6,3	19,20	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	22	23,477
1	Baño 2	C.1.3	9,475	24,25	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	22	23,866
		C.1.4	9,475	24,25	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	22	23,866
1	Cocina	C.1.5	14,77	32,76	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	22	24,520
		C.1.6	14,77	32,76	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	22	24,520
1	Dormitorio 1	C.2.1	12,56	31,99	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	22	24,461
		C.2.2	12,56	31,99	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	22	24,461
		C.2.3	12,56	31,99	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	22	24,461
1	Dormitorio 2	C.2.4	10,555	55,12	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	22	26,240
		C.2.5	10,555	55,12	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	22	26,240
1	Salón	C.2.6	14,4	55,83	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	22	26,295
		C.2.7	14,4	55,83	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	22	26,295
		C.2.8	14,4	55,83	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	22	26,295
2	Baño 3	C.3.1	8,485	9,34	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	22	22,719
		C.3.2	8,485	9,34	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	22	22,719
2	Baño 4	C.3.3	6,3	8,82	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	22	22,679
2	Dormitorio 3	C.3.4	15,27	32,25	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	22	24,481
		C.3.5	15,27	32,25	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	22	24,481
		C.3.6	15,27	32,25	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	22	24,481
2	Dormitorio 4	C.3.7	13,245	42,59	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	22	25,276
		C.3.8	13,245	42,59	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	22	25,276
2	Dormitorio 5	C.3.9	12,65	42,37	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	22	25,260
		C.3.10	12,65	42,37	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	22	25,260
2	Sala de Juegos	C.3.11	15,775	39,84	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	22	25,065
		C.3.12	15,775	39,84	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	22	25,065

Tabla 35. Temperatura del suelo para cada uno de los circuitos para la instalación de suelo radiante [Hoja de cálculo propia]

Como se puede apreciar, la Norma UNE EN 1264 se cumple, pues en ningún caso se sobre pasa de los 29 °C.

#### 4.2.2 Temperatura de impulsión

La temperatura de impulsión consiste en la temperatura a la que tendremos que hacer circular el agua para conseguir que se transfiera el calor necesario para alcanzar la temperatura de diseño. Se calculará única y exclusivamente en aquel circuito que necesite un mayor flujo de calor, puesto que será el más restrictivo. En este caso serán los circuitos que recorran el salón, siendo el flujo igual a 55,83 W/m<sup>2</sup>.

Al tratarse de un sistema de suelo radiante/refrescante la diferencia de temperaturas entre la ida y el retorno se ajusta a 5°C para este caso.

Para obtener la temperatura de impulsión nos basaremos en la Norma UNE-EN 1264, la cual se usa para calcular el flujo de calor procedente de las tuberías. En nuestro caso como dicho dato es un parámetro de diseño, la emplearemos para obtener la temperatura de impulsión.

Puesto que la separación entre tubos es menos de 37,5 cm, partiremos de la siguiente expresión:

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

Dónde:

- $q$  es el flujo de calor procedente de las tuberías [W/m<sup>2</sup>]
- $a_B$  es el factor de revestimiento del suelo.
- $a_T$  es el factor de paso.
- $a_U$  es el factor de recubrimiento.
- $a_D$  es el factor adimensional en función del diámetro exterior de la tubería.

Para poder continuar con el proceso de cálculo, desglosaremos cada uno de los parámetros que intervienen en la expresión anterior:

##### **a<sub>B</sub>: Factor de revestimiento del suelo**

$$a_B = \frac{\frac{1}{\alpha} + \frac{S_{u,0}}{\lambda_{u,0}}}{\frac{1}{\alpha} + \frac{S_{u,0}}{\lambda_E} + R_{\lambda,B}}$$

Dónde:

- $\alpha$  es 10,8 [W/m<sup>2</sup>·K] según fabricante.
- $\lambda_{u,0}$  es 1,8 [W/m·K] según fabricante.
- $S_{u,0}$  es 0,045 [m] según fabricante.
- $R_{\lambda,B}$  es la resistencia térmica del revestimiento [m<sup>2</sup>·K/W].
- $\lambda_E$  es la conductividad térmica del revestimiento [W/m·K].



Sustituyendo los datos proporcionados por el fabricante, y conociendo que nuestra resistencia térmica del revestimiento es  $0,0769 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$  y la conductividad térmica es de  $2,6 \text{ W}/\text{m}\cdot\text{K}$ , obtenemos un valor de  $a_B$  igual a **0,736**.

**$a_T$  : Factor de paso**

Para calcular el factor de paso partiremos de los siguientes datos de referencia que aparecen dentro de la Norma.

**$a_T$  : Factor de paso**

$R_{\lambda,B} \text{ (m}^2\text{K/W)}$	0	0.05	0.10	0.15
$a_T$	1.23	1.188	1.156	1.134

Tabla 36. Factor de paso [Manual de suelo invisible Uponor. Mayo 2016]

Para conocer el valor exacto teniendo en cuenta nuestro valor de resistencia térmica del revestimiento, realizaremos una extrapolación obteniendo un valor final de **factor de paso de 1,173**.

**$a_u$  : Factor de recubrimiento**

Para el factor de recubrimiento procederemos de forma similar que en el caso anterior, salvo que esta vez será necesario conocer la separación entre tubos, siendo ésta de 15 cm.

**$a_u$  : Factor de recubrimiento**

$R_{\lambda,B} \text{ (m}^2\text{K/W)}$	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	1.0335
0.15	1.057	1.046	1.035	1.0305
0.2	1.051	1.041	1.0315	1.0275
0.225	1.048	1.038	1.0295	1.026
0.3	1.0395	1.031	1.024	1.021
0.375	1.03	1.022	1.018	1.015

Tabla 37. Factor de recubrimiento [Manual de suelo invisible Uponor. Mayo 2016]

Procediendo con el mismo método de cálculo que en el apartado anterior, obtenemos un valor de **factor de recubrimiento igual a 1,040**.

**a<sub>D</sub> : Factor adimensional en función del diámetro exterior de la tubería**

Para este factor actuaremos de igual modo que en el caso inmediatamente superior, ya que depende de los mismos parámetros.

**a<sub>D</sub> : Factor adimensional en función del diámetro exterior de la tubería**

R <sub>λ,B</sub> (m <sup>2</sup> K/W)	0	0.05	0.10	0.15
T(m)		a <sub>D</sub>		
<b>0.05</b>	1.013	1.013	1.012	1.011
<b>0.075</b>	1.021	1.019	1.016	1.014
<b>0.1</b>	1.029	1.025	1.022	1.018
<b>0.15</b>	1.04	1.034	1.029	1.024
<b>0.2</b>	1.046	1.04	1.035	1.03
<b>0.225</b>	1.049	1.043	1.038	1.033
<b>0.3</b>	1.053	1.049	1.044	1.039
<b>0.375</b>	1.056	1.051	1.046	1.042

Tabla 38. Factor adimensional en función del diámetro exterior de la tubería [Manual de suelo invisible Uponor. Mayo 2016]

Con todo esto obtenemos un valor de **a<sub>D</sub>** igual a **1,032**.

**B: factor en función del tipo de superficie**

Este factor depende solamente del tipo de superficie que tengamos en el caso de estudio. Para ello, se nos proporciona un valor para cada tipo, siendo igual a 5,2 W/(m<sup>2</sup>·K) en este caso de suelo radiante, tal y como se puede observar a continuación.

Tipo de superficie	B <sub>0</sub> (W/(m <sup>2</sup> ·K))
Suelo radiante para calefacción	6.7
Suelo radiante para refrigeración	5.2

Tabla 39. Factor en función del tipo de superficie [Manual de suelo invisible Uponor. Mayo 2016]

**Otros parámetros**

Como observamos en la fórmula inicial, en el cálculo de la temperatura de impulsión intervienen otros factores (m<sub>T</sub>, m<sub>U</sub> y m<sub>D</sub>). Dichos parámetros corresponden a las expresiones que se anexan a continuación:

$$m_T = 1 - \frac{T}{0,075}$$



Dónde:

- $T$  es la separación entre tubos [m].

$$m_U = 100 \cdot (0,045 - S_U)$$

Dónde:

- $S_u$  es el espesor de la capa por encima de la tubería [m].

$$m_D = 250 \cdot (D - 0,02)$$

Dónde:

- $D$  es el diámetro exterior de la tubería [m].

Puesto que todos estos datos son conocidos ya, podemos resumir de la siguiente manera

- $m_T = -1$
- $m_U = -5,5$
- $m_D = -1$

#### $\Delta\theta_H$ : Temperatura logarítmica media

La temperatura logarítmica media refleja el descenso que sufre la temperatura del local de forma exponencial. Para ello emplearemos la siguiente expresión:

$$\Delta\theta_H = \frac{\theta_R - \theta_V}{\ln\left(\frac{\theta_R - \theta_i}{\theta_V - \theta_i}\right)}$$

Dónde:

- $\theta_V$  es la temperatura de impulsión [°C].
- $\theta_R$  es la temperatura de retorno [°C].
- $\theta_i$  es la temperatura del recinto [°C].

Esta expresión es la que realmente esconde nuestra incógnita,  $\theta_i$ . Conocidos ya todos nuestros valores podemos volver a nuestra fórmula principal del flujo procedente de las tuberías y despejar el valor deseado. Con todo esto, tendremos una **temperatura de impulsión de 40,26 °C**, dentro de los márgenes marcados inicialmente.

### 4.2.3 Caudal de agua por circuito y velocidad

El cálculo del caudal se realizará con la siguiente fórmula:

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{imp} - T_{ret})$$

Dónde:

- $Q$  es la carga térmica del local a climatizar [W].
- $\dot{m}$  es el gasto másico del circuito [kg/s].
- $c_p$  es el calor específico del agua [kcal/kg·°C].
- $T_{imp}$  es la temperatura de impulsión del agua [°C].
- $T_{ret}$  es la temperatura de retorno del agua [°C].
- 

De esta manera obtendremos el gasto másico en cada circuito, que dividido entre la densidad del agua ( 1000 kg/m<sup>3</sup>) nos proporciona el caudal.

Para conocer la velocidad del fluido en cada circuito, una vez calculado el caudal, usaremos la siguiente expresión:

$$v = \frac{Q}{A}$$

Dónde:

- $v$  es la velocidad del fluido en el interior del tubo [m/s]
- $Q$  es el caudal que circula a través del tubo [m<sup>3</sup>/s]
- $A$  es la sección del tubo [m<sup>2</sup>]

En la tabla que se adjunta a continuación, aparecen ambos valores por circuito.



Piso	Habitación	Circuito	Superficie (m <sup>2</sup> )	Q (W/m <sup>2</sup> )	c <sub>p</sub> (kcal/(Kg·°C))	T <sub>imp</sub> (°C)	T <sub>ret</sub> (°C)	(T <sub>imp</sub> -T <sub>ret</sub> )	m (kg/s)	Q (m <sup>3</sup> /h)	v(m/s)
1	Baño 1	C.1.1	6,30	19,196	1	40,267	33,267	7	0,004	0,015	0,021
		C.1.2	6,30	19,196	1	40,267	33,267	7	0,004	0,015	0,021
1	Baño 2	C.1.3	9,48	24,255	1	40,267	33,267	7	0,008	0,028	0,039
		C.1.4	9,48	24,255	1	40,267	33,267	7	0,008	0,028	0,039
1	Cocina	C.1.5	14,77	32,755	1	40,267	33,267	7	0,017	0,059	0,082
		C.1.6	14,77	32,755	1	40,267	33,267	7	0,017	0,059	0,082
1	Dormitorio 1	C.2.1	12,56	31,990	1	40,267	33,267	7	0,014	0,049	0,068
		C.2.2	12,56	31,990	1	40,267	33,267	7	0,014	0,049	0,068
		C.2.3	12,56	31,990	1	40,267	33,267	7	0,014	0,049	0,068
1	Dormitorio 2	C.2.4	10,56	55,121	1	40,267	33,267	7	0,020	0,071	0,099
		C.2.5	10,56	55,121	1	40,267	33,267	7	0,020	0,071	0,099
1	Salón	C.2.6	14,40	55,832	1	40,267	33,267	7	0,027	0,099	0,136
		C.2.7	14,40	55,832	1	40,267	33,267	7	0,027	0,099	0,136
		C.2.8	14,40	55,832	1	40,267	33,267	7	0,027	0,099	0,136
2	Baño 3	C.3.1	8,49	9,343	1	40,267	33,267	7	0,003	0,010	0,013
		C.3.2	8,49	9,343	1	40,267	33,267	7	0,003	0,010	0,013
2	Baño 4	C.3.3	6,30	8,825	1	40,267	33,267	7	0,002	0,007	0,009
2	Dormitorio 3	C.3.4	15,27	32,249	1	40,267	33,267	7	0,017	0,060	0,084
		C.3.5	15,27	32,249	1	40,267	33,267	7	0,017	0,060	0,084
		C.3.6	15,27	32,249	1	40,267	33,267	7	0,017	0,060	0,084
2	Dormitorio 4	C.3.7	13,25	42,590	1	40,267	33,267	7	0,019	0,069	0,096
		C.3.8	13,25	42,590	1	40,267	33,267	7	0,019	0,069	0,096
2	Dormitorio 5	C.3.9	12,65	42,374	1	40,267	33,267	7	0,018	0,066	0,091
		C.3.10	12,65	42,374	1	40,267	33,267	7	0,018	0,066	0,091
2	Sala de Juegos	C.3.11	15,78	39,840	1	40,267	33,267	7	0,021	0,077	0,107
		C.3.12	15,78	39,840	1	40,267	33,267	7	0,021	0,077	0,107

Tabla 40. Caudal y velocidad del fluido en cada uno de los circuitos para la instalación de suelo radiante [Hoja de cálculo propia]



### 4.3 Sistema de suelo refrescante

En este apartado volveremos a realizar los cálculos pero esta vez para suelo refrescante.

#### 4.3.1 Temperatura del suelo

La temperatura media de la superficie del suelo se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$\dot{Q} = \alpha \cdot (T_i - T_{ms})$$

Dónde :

- $\dot{Q}$  es el flujo térmico del local a climatizar [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]
- $\alpha$  es el coeficiente transmisión de calor del suelo [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ]
- $T_i$  es la temperatura de diseño del local a climatizar [ $^{\circ}\text{C}$ ]
- $T_{ms}$  es la temperatura del suelo [ $^{\circ}\text{C}$ ]

Hay que tener en cuenta la Norma UNE EN 1264 que dice que para el sistema de refrigeración, la temperatura del suelo no debe ser inferior a  $19^{\circ}\text{C}$ .

También existe el problema de la condensación del vapor de agua del aire sobre el pavimento, por lo que la temperatura de éste no debe ser nunca menor del punto de rocío del agua, que calcularemos posteriormente.

Los valores obtenidos son los siguientes:



Piso	Recinto	Circuito	Superficie (m <sup>2</sup> )	Q (W/m <sup>2</sup> )	e <sub>mortero</sub> (m)	λ <sub>mortero</sub> (m·k/W)	R <sub>mortero</sub> (W/m <sup>2</sup> ·K)	e <sub>azulejo</sub> (m)	λ <sub>azulejo</sub> (m·k/W)	R <sub>azulejo</sub> (W/m <sup>2</sup> ·K)	α	T <sub>i</sub> (°C)	T <sub>ms</sub> (°C)
1	Baño 1	C.1.1	6,3	16,80	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	24	22,708
		C.1.2	6,3	16,80	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	24	22,708
1	Baño 2	C.1.3	9,475	17,21	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	24	22,676
		C.1.4	9,475	17,21	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	24	22,676
1	Cocina	C.1.5	14,77	64,58	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	24	19,032
		C.1.6	14,77	64,58	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	24	19,032
1	Dormitorio 1	C.2.1	12,56	31,05	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	24	21,611
		C.2.2	12,56	31,05	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	24	21,611
		C.2.3	12,56	31,05	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	24	21,611
1	Dormitorio 2	C.2.4	10,555	49,66	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	24	20,180
		C.2.5	10,555	49,66	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	24	20,180
1	Salón	C.2.6	14,4	64,95	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	24	19,004
		C.2.7	14,4	64,95	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	24	19,004
		C.2.8	14,4	64,95	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	24	19,004
2	Baño 3	C.3.1	8,485	16,18	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	24	22,755
		C.3.2	8,485	16,18	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	24	22,755
2	Baño 4	C.3.3	6,3	25,38	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	24	22,047
2	Dormitorio 3	C.3.4	15,27	44,86	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	24	20,549
		C.3.5	15,27	44,86	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	24	20,549
		C.3.6	15,27	44,86	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	24	20,549
2	Dormitorio 4	C.3.7	13,245	48,03	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	24	20,305
		C.3.8	13,245	48,03	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	24	20,305
2	Dormitorio 5	C.3.9	12,65	48,53	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	24	20,267
		C.3.10	12,65	48,53	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	24	20,267
2	Sala de Juegos	C.3.11	15,775	58,16	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	24	19,526
		C.3.12	15,775	58,16	0,07	1,3	0,054	0,03	1,3	0,023	13	24	19,526

Tabla 41. Temperatura del suelo para cada uno de los circuitos para la instalación de suelo refrescante [Hoja de cálculo propia]

#### 4.3.1.1 Temperatura de rocío

Según la Guía MetAs, para el cálculo de la temperatura de rocío primero habrá que conocer la presión de saturación del agua a la temperatura ambiente:

$$e_s(t) = \exp\left[\ln(611,2) + \frac{17,67 \cdot t}{243,12 + t}\right]$$

Dónde:

- $e_s(t)$  es la presión de saturación del vapor de agua [Pa].
- $t$  es la temperatura ambiente [°C].

Una vez hemos calculado la presión de saturación del vapor a temperatura ambiente, calcularemos la presión parcial de vapor de agua a partir de la humedad relativa (HR) con la siguiente expresión:

$$e = \frac{\% HR}{100} \cdot e_s(t)$$

Dónde:

- $e$  es la presión parcial de vapor de agua.
- HR es la humedad relativa de diseño dentro de nuestra vivienda..

Como temperatura de rocío es aquella a la que se llega a la presión de saturación del vapor del aire, se da la siguiente igualdad:

$$e = e_s \cdot t_d$$

Y por tanto:

$$e(t) = \exp\left[\ln(611,2) + \frac{17,67 \cdot t_d}{243,12 + t_d}\right]$$

Sustituyendo los parámetros por los ya mencionados anteriormente, resulta una **temperatura de rocío de 12, 93 °C**.

Esto quiere decir que la temperatura del suelo no debe ser igual o inferior a dicha temperatura, ya que se produciría condensación y el pavimento quedaría resbaladizo.

Observamos que en todos y cada uno de los circuitos cumplimos con la norma, no sobrepasando la temperatura establecida.

#### 4.3.2 Temperatura de impulsión

La temperatura de impulsión para un sistema de suelo refrescante será la temperatura a la cual deberemos hacer circular el agua para que le sea transferido todo el calor procedente de cada habitación con el fin de alcanzar la temperatura de diseño. Al igual que para la temperatura de impulsión del suelo radiante, se calculará única y exclusivamente en aquel



circuito que necesite un mayor flujo de calor. En este caso serán los circuitos que recorran el salón, siendo el flujo igual a  $64,953 \text{ W/m}^2$ .

Al tratarse de un sistema de suelo radiante/refrescante la diferencia de temperaturas entre la ida y el retorno se ajusta a  $7^\circ\text{C}$ . Se recomienda que la temperatura de impulsión se encuentre entre los  $30 - 45^\circ\text{C}$ .

Para obtener la temperatura de impulsión nos basaremos en la Norma UNE-EN 1264, la cual se usa para calcular el flujo de calor procedente de las tuberías. En nuestro caso como dicho dato es un parámetro de diseño, la utilizaremos para calcular dicha temperatura.

Puesto que la separación entre tubos es menos de  $37,5 \text{ cm}$ , partiremos de la siguiente expresión:

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

Dónde:

- $q$  es el flujo de calor procedente de las tuberías [ $\text{W/m}^2$ ].
- $a_B$  es el factor de revestimiento del suelo.
- $a_T$  es el factor de paso.
- $a_U$  es el factor de recubrimiento.
- $a_D$  es el factor adimensional en función del diámetro exterior de la tubería.

Para poder continuar con el proceso de cálculo, desglosaremos cada uno de los parámetros que intervienen en la expresión anterior:

#### **$a_B$ : Factor de revestimiento del suelo**

$$a_B = \frac{\frac{1}{\alpha} + \frac{S_{u,0}}{\lambda_{u,0}}}{\frac{1}{\alpha} + \frac{S_{u,0}}{\lambda_E} + R_{\lambda,B}}$$

Dónde:

- $\alpha$  es  $10,8 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$  según fabricante.
- $\lambda_{u,0}$  es  $1,8 \text{ [W/m}\cdot\text{K]}$  según fabricante.
- $S_{u,0}$  es  $0,045 \text{ [m]}$  según fabricante.
- $R_{\lambda,B}$  es la resistencia térmica del revestimiento [ $\text{m}^2\cdot\text{K/W}$ ].
- $\lambda_E$  es la conductividad térmica del revestimiento [ $\text{W/m}\cdot\text{K}$ ].

Sustituyendo los datos proporcionados por el fabricante, y conociendo que nuestra resistencia térmica del revestimiento es  $0,0769 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$  y la conductividad térmica es de  $2,6 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ , obtenemos un valor de  $a_B$  igual a **0,736**.

**$a_T$  : Factor de paso**

Para calcular el factor de paso partiremos de los siguientes datos de referencia que aparecen dentro de la Norma.

**$a_T$  : Factor de paso**

$R_{\lambda,B}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0	0.05	0.10	0.15
$a_T$	1.23	1.188	1.156	1.134

Tabla 42. Factor de paso [Manual de suelo invisible Uponor. Mayo 2016]

Para conocer el valor exacto teniendo en cuenta nuestro valor de resistencia térmica del revestimiento, realizaremos una extrapolación obteniendo un valor final de **factor de paso de 1,173**.

**$a_u$  : Factor de recubrimiento**

Para el factor de recubrimiento procederemos de forma similar que en el caso anterior, salvo que esta vez será necesario conocer la separación entre tubos, siendo ésta de 15 cm.

**$a_u$  : Factor de recubrimiento**

$R_{\lambda,B}$ (m <sup>2</sup> 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	1.0335
0.15	1.057	1.046	1.035	1.0305
0.2	1.051	1.041	1.0315	1.0275
0.225	1.048	1.038	1.0295	1.026
0.3	1.0395	1.031	1.024	1.021
0.375	1.03	1.022	1.018	1.015

Tabla 43. Factor de recubrimiento [Manual de suelo invisible Uponor. Mayo 2016]

Procediendo con el mismo método de cálculo que en el apartado anterior, obtenemos un valor de **factor de recubrimiento igual a 1,040**.

**$a_D$  : Factor adimensional en función del diámetro exterior de la tubería**

Para este factor actuaremos de igual modo que en el caso inmediatamente superior, ya que depende de los mismos parámetros.

$a_d$ : Factor adimensional en función del diámetro exterior de la tubería

$R_{\lambda,B}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0	0.05	0.10	0.15
T(m)		$a_d$		
<b>0.05</b>	1.013	1.013	1.012	1.011
<b>0.075</b>	1.021	1.019	1.016	1.014
<b>0.1</b>	1.029	1.025	1.022	1.018
<b>0.15</b>	1.04	1.034	1.029	1.024
<b>0.2</b>	1.046	1.04	1.035	1.03
<b>0.225</b>	1.049	1.043	1.038	1.033
<b>0.3</b>	1.053	1.049	1.044	1.039
<b>0.375</b>	1.056	1.051	1.046	1.042

Tabla 44. Factor adimensional en función del diámetro exterior de la tubería [Manual de suelo invisible Uponor. Mayo 2016]

Con todo esto obtenemos un valor de  $a_d$  igual a **1,032**.

### B: factor en función del tipo de superficie

Este factor depende solamente del tipo de superficie que tengamos en el caso de estudio. Para ello, se nos proporciona un valor para cada tipo, siendo igual a 6,7 W/(m<sup>2</sup>·K) en este caso de suelo radiante, tal y como se puede observar a continuación.

Tipo de superficie	$B_0$ (W/(m <sup>2</sup> ·K))
Suelo radiante para calefacción	6.7
Suelo radiante para refrigeración	5.2

Tabla 45. Factor en función del tipo de superficie [Manual de suelo invisible Uponor. Mayo 2016]

### Otros parámetros

Como observamos en la fórmula inicial, en el cálculo de la temperatura de impulsión intervienen otros factores ( $m_T$ ,  $m_U$  y  $m_D$ ). Dichos parámetros corresponden a las expresiones que se anexan a continuación:

$$m_T = 1 - \frac{T}{0,075}$$

Dónde:

- T es la separación entre tubos [m].

$$m_U = 100 \cdot (0,045 - S_U)$$

Dónde:

- $S_u$  es el espesor de la capa por encima de la tubería [m].

$$m_D = 250 \cdot (D - 0,02)$$

Dónde:

- D es el diámetro exterior de la tubería [m].

Puesto que todos estos datos son conocidos ya, podemos resumir de la siguiente manera:

- $m_T = -1$
- $m_U = -5,5$
- $m_D = -1$

#### $\Delta\theta_H$ : Temperatura logarítmica media

La temperatura logarítmica media refleja el descenso que sufre la temperatura del local de forma exponencial. Para ello emplearemos la siguiente expresión:

$$\Delta\theta_H = \frac{\theta_V - \theta_R}{\ln\left(\frac{\theta_V - \theta_i}{\theta_R - \theta_i}\right)}$$

Dónde:

- $\theta_V$  es la temperatura de impulsión [°C]
- $\theta_R$  es la temperatura de retorno [°C]
- $\theta_i$  es la temperatura del recinto [°C]

Esta expresión es la que realmente esconde nuestra incógnita,  $\theta_i$ . Conocidos ya todos nuestros valores podemos volver a nuestra fórmula principal del flujo procedente de las tuberías y despejar el valor deseado. Con todo esto, tendremos una **temperatura de impulsión de 14,186 °C**, cumpliendo el requisito de estar por encima de la temperatura de rocío calculada anteriormente.

### 4.3.3 Caudal de agua por circuito y velocidad

El cálculo del caudal se realizará con la siguiente fórmula:

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{imp} - T_{ret})$$

Dónde:

- $Q$  es la carga térmica del local a climatizar [W].
- $\dot{m}$  es el gasto másico del circuito [kg/s].
- $c_p$  es el calor específico del agua [kcal/kg·°C].
- $T_{imp}$  es la temperatura de impulsión del agua [°C].
- $T_{ret}$  es la temperatura de retorno del agua [°C].
- 

De esta manera obtendremos el gasto másico en cada circuito, que dividido entre la densidad del agua (1000 kg/m<sup>3</sup>) nos proporciona el caudal.

Para conocer la velocidad del fluido en cada circuito, una vez calculado el caudal, usaremos la siguiente expresión:

$$v = \frac{Q}{A}$$

Dónde:

- $v$  es la velocidad del fluido en el interior del tubo [m/s].
- $Q$  es el caudal que circula a través del tubo [m<sup>3</sup>/s].
- $A$  es la sección del tubo [m<sup>2</sup>].

En la tabla que se adjunta a continuación, aparecen ambos valores por circuito.



Piso	Habitación	Circuito	Superficie (m <sup>2</sup> )	Q (W/m <sup>2</sup> )	c <sub>p</sub> (kcal/(Kg·°C))	T <sub>imp</sub> (°C)	T <sub>ret</sub> (°C)	(T <sub>imp</sub> -T <sub>ret</sub> )	m (kg/s)	Q (l/h)	v(m/s)
1	Baño 1	C.1.1	6,300	16,800	1	14,186	19,186	5	0,005	18,204	0,025
		C.1.2	6,300	16,800	1	14,186	19,186	5	0,005	18,204	0,025
1	Baño 2	C.1.3	9,475	17,215	1	14,186	19,186	5	0,008	28,054	0,039
		C.1.4	9,475	17,215	1	14,186	19,186	5	0,008	28,054	0,039
1	Cocina	C.1.5	14,770	64,579	1	14,186	19,186	5	0,046	164,058	0,227
		C.1.6	14,770	64,579	1	14,186	19,186	5	0,046	164,058	0,227
1	Dormitorio 1	C.2.1	12,557	31,051	1	14,186	19,186	5	0,019	67,062	0,093
		C.2.2	12,557	31,051	1	14,186	19,186	5	0,019	67,062	0,093
		C.2.3	12,557	31,051	1	14,186	19,186	5	0,019	67,062	0,093
1	Dormitorio 2	C.2.4	10,555	49,657	1	14,186	19,186	5	0,025	90,149	0,125
		C.2.5	10,555	49,657	1	14,186	19,186	5	0,025	90,149	0,125
1	Salón	C.2.6	14,400	64,953	1	14,186	19,186	5	0,045	160,876	0,222
		C.2.7	14,400	64,953	1	14,186	19,186	5	0,045	160,876	0,222
		C.2.8	14,400	64,953	1	14,186	19,186	5	0,045	160,876	0,222
2	Baño 3	C.3.1	8,485	16,181	1	14,186	19,186	5	0,007	23,615	0,033
		C.3.2	8,485	16,181	1	14,186	19,186	5	0,007	23,615	0,033
2	Baño 4	C.3.3	6,300	25,384	1	14,186	19,186	5	0,008	27,506	0,038
2	Dormitorio 3	C.3.4	15,267	44,864	1	14,186	19,186	5	0,033	117,806	0,163
		C.3.5	15,267	44,864	1	14,186	19,186	5	0,033	117,806	0,163
		C.3.6	15,267	44,864	1	14,186	19,186	5	0,033	117,806	0,163
2	Dormitorio 4	C.3.7	13,245	48,035	1	14,186	19,186	5	0,030	109,429	0,151
		C.3.8	13,245	48,035	1	14,186	19,186	5	0,030	109,429	0,151
2	Dormitorio 5	C.3.9	12,650	48,526	1	14,186	19,186	5	0,029	105,583	0,146
		C.3.10	12,650	48,526	1	14,186	19,186	5	0,029	105,583	0,146
2	Sala de Juegos	C.3.11	15,775	58,159	1	14,186	19,186	5	0,044	157,803	0,218
		C.3.12	15,775	58,159	1	14,186	19,186	5	0,044	157,803	0,218

Tabla 46. Caudal y velocidad del fluido en cada uno de los circuitos para la instalación de suelo refrescante [Hoja de cálculo propia]



#### 4.4 Montantes

Para poder seleccionar el diámetro que tendrán las distintas tuberías desde la sala de calderas hasta cada uno de los colectores es preciso conocer el caudal total que circulará a través de ellos, puesto que con dicho valor podremos entrar en el ábaco de pérdida de cargas para tuberías WirsboevalPEX que se muestra a continuación y coger aquella tubería cuya pérdida de carga sea menor de 0,2KPa/m.

Para realizar estos cálculos emplearemos los datos del sistema de suelo refrescante, pues es el que mayor caudal tiene y el que nos dará una mayor pérdida de carga, es decir, 0,683 l/s. Hay que tener en cuenta que uno de los colectores se encuentra en la planta de arriba, por lo llevaremos primeramente el caudal total hasta el lugar donde se encuentren los dos colectores de la planta inferior y en ese punto colocaremos una válvula tipo “T” hacia éste.

Entrando con el caudal anterior y probando primeramente con la tubería de menor diámetro (32mm) vemos que obtenemos una pérdida de carga mayor de la recomendada, por lo que probamos con la inmediatamente superior, la tubería de 40mm. En este caso la pérdida de carga obtenida es de 0,18 kPa/m, por lo que podemos afirmar que la instalación de la planta inferior de nuestras montantes estará formada por tuberías Wirsbo-evalPEX de 40x3,7. El caudal de agua necesaria en el colector de arriba es 0,326l/s. Entrando en el mismo ábaco con este valor y nuevamente con la tubería de 32mm comprobamos que en este caso si nos sería suficiente, pues nos resultaría una pérdida de carga de 0,0021 kPa/m.

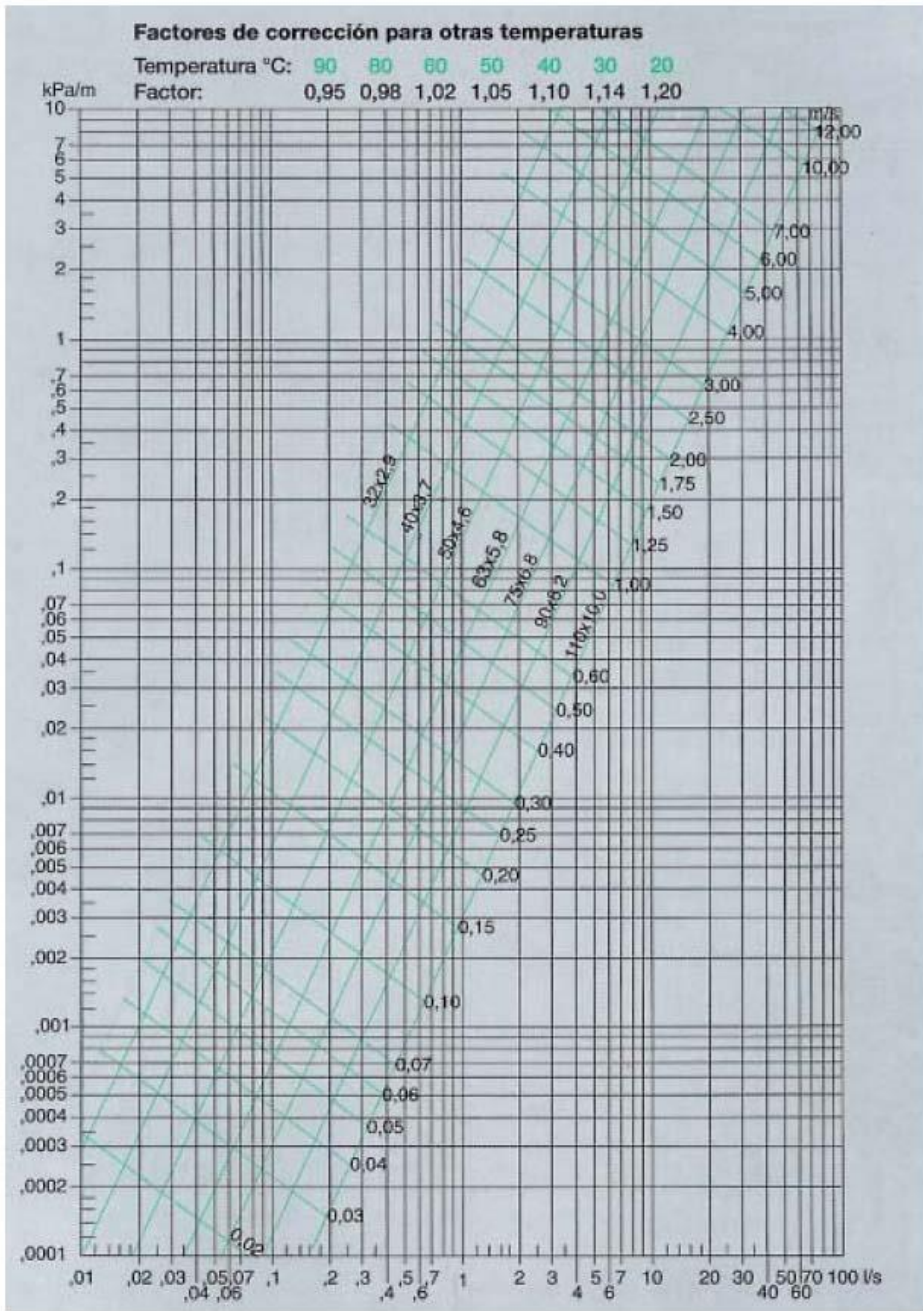


Fig. 10.3 - Diagrama de pérdida de carga en tuberías Wirsbo-evalPEX (desde 32x2,9 hasta 110x10)

Figura 12. Diagrama de pérdida de carga en tuberías Wirsbo-evalPEX [Manual de suelo invisible Uponor. Mayo 2016]



#### 4.5 Pérdidas de carga

En este apartado calcularemos las pérdidas de carga producidas en cada uno de los circuitos que forman nuestra instalación completa. Con ellos seremos capaces de elegir una bomba con la suficiente capacidad para mover la totalidad de volumen de agua necesaria para climatizar la vivienda.

Para dicho cálculo partiremos de la siguiente fórmula:

$$H_B = L_T \cdot H_{cl} + \sum k \cdot \left( \frac{v^2}{2 \cdot g} \right) + (z_2 - z_1)$$

Dónde:

- $L_T$  es longitud total del circuito primario [m].
- $H_{cl}$  es la pérdida de carga por metro lineal de tubería [kPa/m].
- $K$  es el factor de pérdida característico de cada elemento.
- $(z_2 - z_1)$  es la pérdida por altura piezométrica [m].

Para el primer término, la pérdida de carga en cada uno de los circuitos, emplearemos la conocida ecuación de Darcy:

$$\Delta P = \frac{\rho \cdot f \cdot L \cdot v^2}{2 \cdot D}$$

Dónde:

- $\rho$  es la densidad del fluido [ $\text{kg/m}^3$ ].
- $f$  es el factor de fricción.
- $L$  es la longitud de cada circuito [m].
- $v$  es la velocidad del fluido [m/s].
- $D$  es el diámetro interior de la tubería [m].

Para poder emplear esta expresión primeramente necesitamos conocer el factor de fricción en los tubos. Para ello nos valdremos de la siguiente expresión, válida para aquellos fluidos en régimen laminar ( $Re < 2300$ ), todos en nuestro caso como veremos a continuación:

$$f = \frac{64}{Re}$$

Teniendo en cuenta estas dos nuevas expresiones y los parámetros necesarios para su obtención, las pérdidas de carga en cada circuito son las que aparecen en la siguiente tabla:



Piso	Habitación	Circuito	Superficie (m <sup>2</sup> )	Longitud	Q (l/s)	v(m/s)	Re	f	ΔP (Pa)	ΔP (kPa)
1	Baño 1	C.1.1	6,300	69,000	0,005	0,025	301,804	0,212	385,638	0,386
		C.1.2	6,300	69,000	0,005	0,025	301,804	0,212	385,638	0,386
1	Baño 2	C.1.3	9,475	96,750	0,008	0,039	465,107	0,138	833,317	0,833
		C.1.4	9,475	96,750	0,008	0,039	465,107	0,138	833,317	0,833
1	Cocina	C.1.5	14,770	104,467	0,046	0,227	1919,866	0,024	5261,766	5,262
		C.1.6	14,770	104,467	0,046	0,227	1919,866	0,024	5261,766	5,262
1	Dormitorio 1	C.2.1	12,557	86,378	0,019	0,093	1111,799	0,058	1778,420	1,778
		C.2.2	12,557	86,378	0,019	0,093	1111,799	0,058	1778,420	1,778
		C.2.3	12,557	86,378	0,019	0,093	1111,799	0,058	1778,420	1,778
1	Dormitorio 2	C.2.4	10,555	76,367	0,025	0,125	1494,555	0,043	2113,596	2,114
		C.2.5	10,555	76,367	0,025	0,125	1494,555	0,043	2113,596	2,114
1	Salón	C.2.6	14,400	100,000	0,045	0,222	2267,112	0,024	4939,096	4,939
		C.2.7	14,400	100,000	0,045	0,222	2267,112	0,024	4939,096	4,939
		C.2.8	14,400	100,000	0,045	0,222	2267,112	0,024	4939,096	4,939
2	Baño 3	C.3.1	8,485	84,850	0,007	0,033	391,510	0,163	615,177	0,615
		C.3.2	8,485	84,850	0,007	0,033	391,510	0,163	615,177	0,615
2	Baño 4	C.3.3	6,300	74,300	0,008	0,038	456,014	0,140	627,442	0,627
2	Dormitorio 3	C.3.4	15,267	104,444	0,033	0,163	1953,064	0,033	3777,532	3,778
		C.3.5	15,267	104,444	0,033	0,163	1953,064	0,033	3777,532	3,778
		C.3.6	15,267	104,444	0,033	0,163	1953,064	0,033	3777,532	3,778
2	Dormitorio 4	C.3.7	13,245	91,300	0,030	0,151	1814,197	0,035	3067,337	3,067
		C.3.8	13,245	91,300	0,030	0,151	1814,197	0,035	3067,337	3,067
2	Dormitorio 5	C.3.9	12,650	86,833	0,029	0,146	1750,428	0,037	2814,732	2,815
		C.3.10	12,650	86,833	0,029	0,146	1750,428	0,037	2814,732	2,815
2	Sala de Juegos	C.3.11	15,775	111,667	0,044	0,218	2016,162	0,024	5409,965	5,410
		C.3.12	15,775	111,667	0,044	0,218	2016,162	0,024	5409,965	5,410

Tabla 47. Pérdidas de carga por circuito para la instalación de suelo refrescante

Realizando el sumatorio de las pérdidas de carga en cada circuito secundario obtenemos una **pérdida de carga total de 73,115 kPa**.

De igual forma que hemos procedido para los circuitos secundarios, lo haremos también para los circuitos primarios. Para ello tendremos en cuenta lo anteriormente mencionado. El caudal total se distribuirá hasta la zona donde se encuentren los colectores de la planta inferior, es decir, a 9,5 m a lo que habrá que añadir la distancia desde los colectores hasta las distintas habitaciones, es decir, 50,65 m. En este punto, una nueva montante de 3,3 m conectará este punto con el colector de la planta superior. Con esta información y conociendo la pérdida de carga por metro lineal de tubo, podemos afirmar que en la planta inferior tendremos una pérdida de carga de 1,71 kPa, mientras que en la montante dispuesta hacia la parte superior la pérdida de carga será igual a 0,00693 kPa.

Los colectores al ser unos instrumentos llenos de accesorios también poseen ciertas pérdidas de carga. En este caso para su cálculo bastará con conocer el número de circuitos que posea cada uno y el caudal que llegue. Con todo ello bastará con entrar en el gráfico proporcionado por el fabricante para obtener los 3 valores, uno para cada colector.

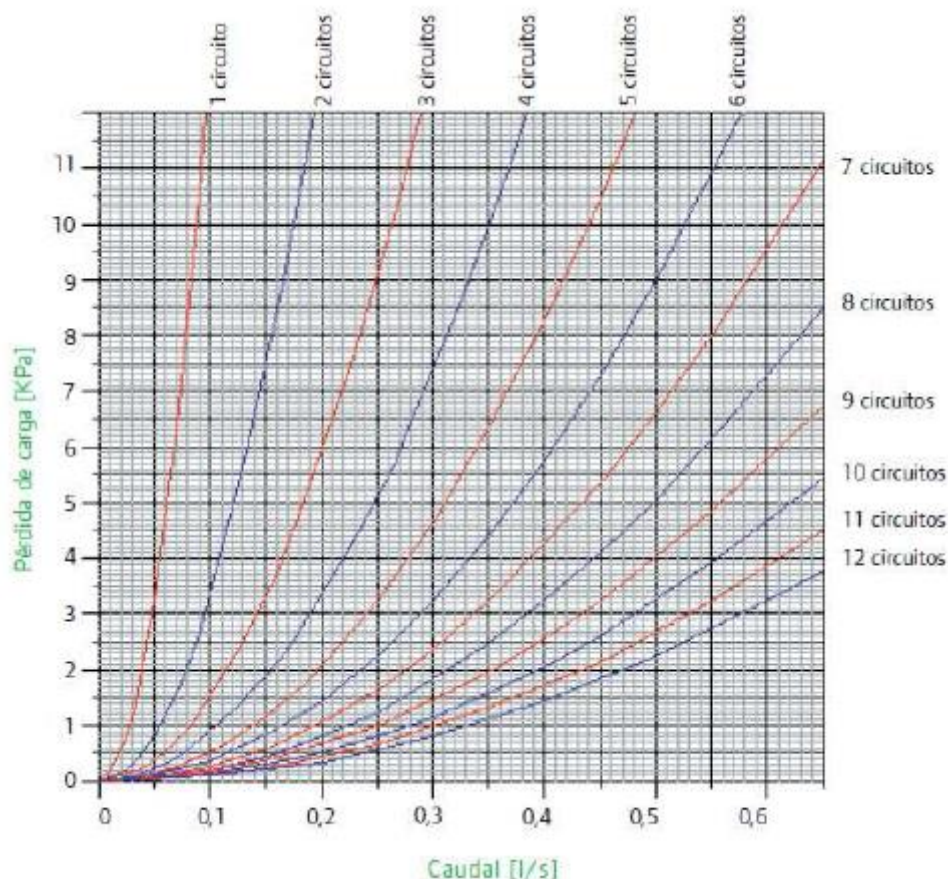


Figura 13. Pérdida de carga de cada colector en función del número de circuitos [Manual de suelo invisible Uponor. Mayo 2016]

Entrando con el caudal y el número de circuitos la pérdida de carga para cada colector será:

Colector	Circuitos	Q (l/s)	$\Delta P$ (kPa)
1	6	0,117	0,5
2	8	0,240	1,2
3	12	0,326	0,9

Tabla 48. Total de pérdida de carga por colector [Hoja de cálculo propia]

Lo que hace un total de **pérdida de carga en los colectores** sea de **2,6 kPa**.

Para calcular las pérdidas de carga producidas por los distintos accesorios las estimaremos en un 0,5% sobre las pérdidas primarias, por lo que tenemos unas pérdidas de 0,379 kPa.

Según todo lo descrito anteriormente, necesitaremos instalar una bomba capaz de cubrir una altura igual a **11,239m**.

#### 4.6 Selección de la bomba de circulación

A partir de la información del apartado anterior podremos seleccionar la bomba de circulación que se capaz de impulsar todo nuestro fluido. Para ello acudiremos a los fabricantes y en función de las curvas características podremos seleccionar aquella que teniendo en cuenta el caudal circulante y la altura.

En nuestro caso, con un caudal de  $6,82 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{h}$  y una altura de 11,239m la bomba seleccionada es la **Wilo-Stratos-Z 30/1-12**, número de referencia 2063403, cuya curva característica es la que se muestra a continuación.

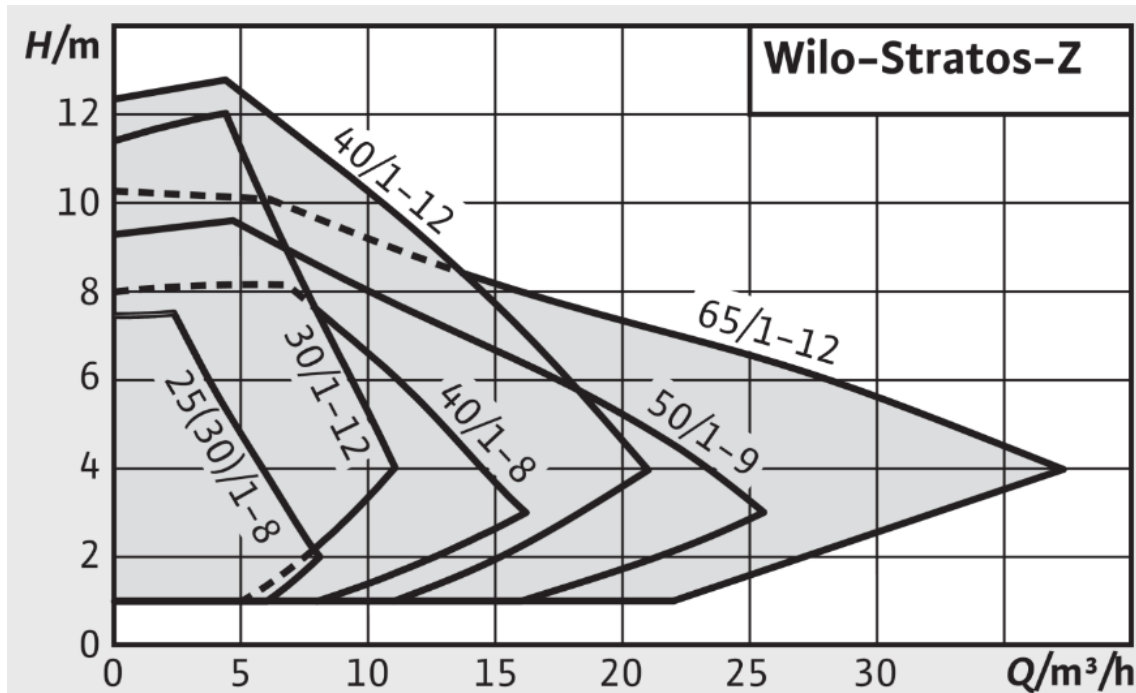


Figura 14. Curva característica bomba de impulsión seleccionada [www.wilo.com – Agosto 2016]

#### 4.7 Compensación de los distribuidores

Para el correcto funcionamiento del sistema de climatización y que en cada habitación se alcance en todo momento la temperatura deseada es necesario realizar, sobre todo al llevar a cabo la nueva instalación, un equilibrado hidráulico, es decir, evitaremos que el agua se bifurque principalmente por los primeros circuitos que recorra y facilitaremos que lo haga por aquellos en los que sea necesario y de manera exacta. Para ello nos valdremos de los detedores que existen en las cajas de colectores (uno por circuito). Estos elementos nos permitirán ajustar el caudal de agua entrante con sus 13 posiciones distintas (desde la posición 0 hasta la 12). Bastará con girar la rueda hasta la posición indicada, la cual se obtiene entrando en el siguiente gráfico del fabricante con los datos de caudal y pérdida de carga por circuito.

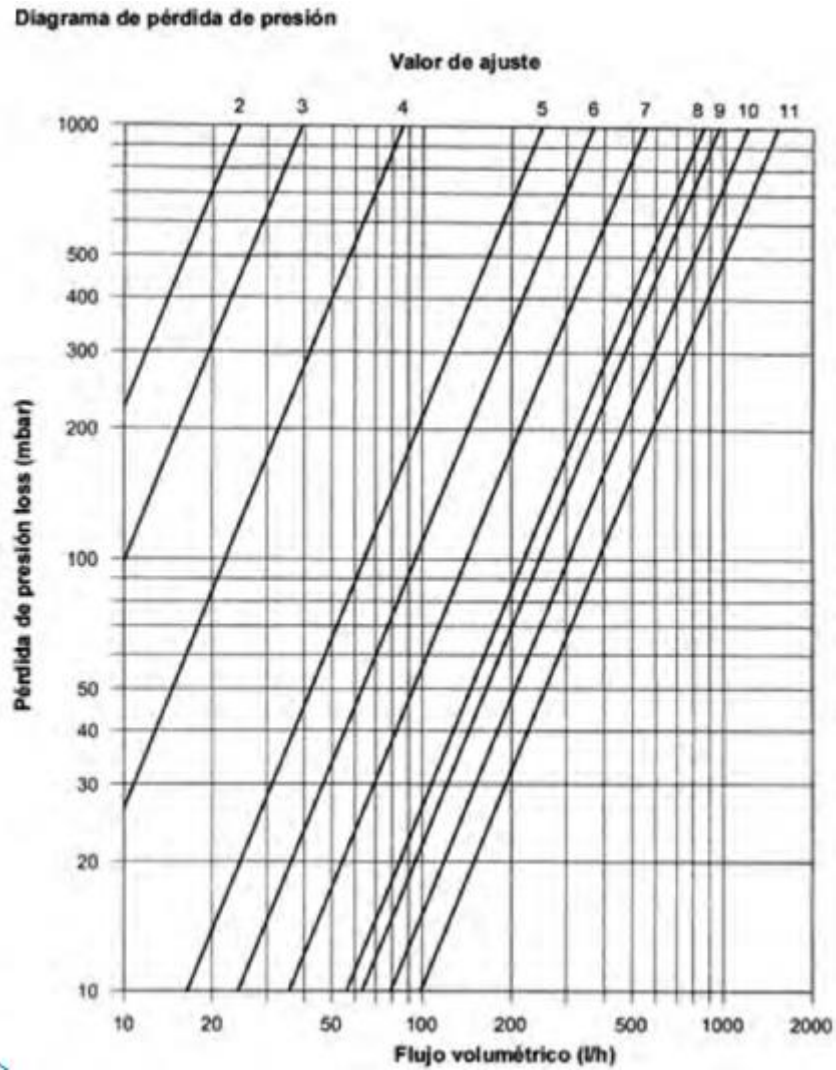


Figura 15. Gráfico compensación de los distribuidores [Manual de suelo invisible Uponor. Mayo 2016]

La posición de los detentores para la instalación de suelo radiante quedará de la siguiente manera:

Circuito	Caudal	$\Delta P$ (kPa)	$\Delta P$ (mbar)	Valor de ajuste
C.1.1	14,8579952	0,315	3,147	5
C.1.2	14,8579952	0,315	3,147	5
C.1.3	28,2341886	0,839	8,387	7
C.1.4	28,2341886	0,839	8,387	7
C.1.5	59,4376084	1,906	19,063	8
C.1.6	59,4376084	1,906	19,063	8
C.2.1	49,3497447	1,309	13,087	8
C.2.2	49,3497447	1,309	13,087	8



C.2.3	49,3497447	1,309	13,087	8
C.2.4	71,4782501	1,676	16,758	9
C.2.5	71,4782501	1,676	16,758	9
C.2.6	98,7743003	3,032	30,325	8
C.2.7	98,7743003	3,032	30,325	8
C.2.8	98,7743003	3,032	30,325	8
C.3.1	9,739826	0,254	2,537	5
C.3.2	9,739826	0,254	2,537	5
C.3.3	6,83021053	0,156	1,558	5
C.3.4	60,487411	1,940	19,396	8
C.3.5	60,487411	1,940	19,396	8
C.3.6	60,487411	1,940	19,396	8
C.3.7	69,3036823	1,943	19,426	8
C.3.8	69,3036823	1,943	19,426	8
C.3.9	65,8546635	1,756	17,556	8
C.3.10	65,8546635	1,756	17,556	8
C.3.11	77,2133731	2,647	26,471	8
C.3.12	77,2133731	2,647	26,471	8

Tabla 49. Valores de ajuste para cada circuito para instalación de suelo radiante [Hoja de cálculo propia]

La posición de los detentores para la instalación de suelo refrescante quedará de la siguiente manera:

Circuito	Caudal	$\Delta P$ (kPa)	$\Delta P$ (mbar)	Valor de ajuste
C.1.1	18,2043756	0,386	3,856	5
C.1.2	18,2043756	0,386	3,856	5
C.1.3	28,0545969	0,833	8,333	7
C.1.4	28,0545969	0,833	8,333	7
C.1.5	164,058462	5,262	52,618	9
C.1.6	164,058462	5,262	52,618	9
C.2.1	67,0621217	1,778	17,784	8
C.2.2	67,0621217	1,778	17,784	8
C.2.3	67,0621217	1,778	17,784	8
C.2.4	90,1494327	2,114	21,136	9
C.2.5	90,1494327	2,114	21,136	9
C.2.6	160,876391	4,939	49,391	8
C.2.7	160,876391	4,939	49,391	8
C.2.8	160,876391	4,939	49,391	8
C.3.1	23,6152969	0,615	6,152	6
C.3.2	23,6152969	0,615	6,152	6
C.3.3	27,5061401	0,627	6,274	7



C.3.4	117,806064	3,778	37,775	8
C.3.5	117,806064	3,778	37,775	8
C.3.6	117,806064	3,778	37,775	8
C.3.7	109,429787	3,067	30,673	8
C.3.8	109,429787	3,067	30,673	8
C.3.9	105,583332	2,815	28,147	9
C.3.10	105,583332	2,815	28,147	9
C.3.11	157,803178	5,410	54,100	8
C.3.12	157,803178	5,410	54,100	8

Tabla 50. Valores de ajuste para cada circuito para instalación de suelo refrescante [Hoja de cálculo propia]

#### 4.8 Vaso de expansión

El vaso de expansión se instalará para evitar sobrepresiones en la instalación, ya que es el encargo de absorber la presión del agua cuando ésta se caliente y se expande, de esta forma protegeremos la instalación.

El volumen del vaso de expansión se calculará a través de la siguiente fórmula:

$$V_T = \frac{P_a \cdot (V \cdot C_e)}{P_a - P_b}$$

Dónde:

- $V_T$  es el volumen total del depósito [l].
- $P_a$  es la presión absoluta máxima de trabajo (< tarado de la válvula de seguridad).
- $P_b$  es la presión absoluta mínima, la de la altura manométrica.
- $V$  es el volumen de agua de la instalación [l].
- $C_e$  es el coeficiente de expansión del agua, para una temperatura media de 40,26 °C.

Para dimensionarlo es necesario conocer el caudal total que circula por toda nuestra instalación de climatización, para ello nos valdremos de esta simple expresión:

$$V = S \cdot L$$

Dónde:

- $S$  es la sección de la tubería [m<sup>2</sup>].
- $L$  es la longitud de la tubería [m].

Siendo el caudal total el que se aloja en la siguiente tabla:





Circuito	Diámetro (mm)	L (m)	V (l)
C.1.1	16	69,00	13,87
C.1.2	16	69,00	13,87
C.1.3	16	96,75	19,45
C.1.4	16	96,75	19,45
C.1.5	16	104,47	21,00
C.1.6	16	104,47	21,00
C.2.1	16	86,38	17,37
C.2.2	16	86,38	17,37
C.2.3	16	86,38	17,37
C.2.4	16	76,37	15,35
C.2.5	16	76,37	15,35
C.2.6	16	100,00	20,11
C.2.7	16	100,00	20,11
C.2.8	16	100,00	20,11
C.3.1	16	84,85	17,06
C.3.2	16	84,85	17,06
C.3.3	16	74,30	14,94
C.3.4	16	104,44	21,00
C.3.5	16	104,44	21,00
C.3.6	16	104,44	21,00
C.3.7	16	91,30	18,36
C.3.8	16	91,30	18,36
C.3.9	16	86,83	17,46
C.3.10	16	86,83	17,46
C.3.11	16	111,67	22,45
C.3.12	16	111,67	22,45
Montantes	40	63,45	79,73
<b>Total circuito</b>			<b>560,117</b>

Tabla 51. Caudales instalación climatización [Hoja de cálculo propia]

Como se puede observar nuestra instalación de climatización albergará un caudal de **560,12 l**.

El coeficiente de expansión del fluido lo obtendremos por medio de la siguiente expresión.

$$c_e = (-33,48 + 0,738 \cdot T) \cdot 10^{-3}$$

Dónde:

- T es la temperatura del fluido [°C]

Como ya hemos comentado, la temperatura a la que el fluido recorrerá la instalación será la temperatura de impulsión, es decir, 40,26 °C.

Teniendo en cuenta que la presión absoluta máxima es 2,5 bar (en función de nuestra válvula



de seguridad) y nuestra presión mínima es 1 bar observamos que **tampoco es necesaria la instalación de un vaso de expansión.**

#### 4.9 Depósito de inercia

Para el mejor funcionamiento del compresor de la bomba de calor y conseguir alargar su vida útil lo máximo posible es recomendable instalar a la salida de la misma un depósito que almacena la cantidad necesaria de agua, para evitar que las paradas y arranques del compresor se produzcan de forma continuada.

La expresión que nos permite calcular el volumen total que deberá tener nuestro depósito es la siguiente:

$$V.T = \frac{P.F \cdot T}{DT \cdot CEA \cdot 60}$$

Dónde:

- V.T es el volumen total del depósito [l].
- P.F es la potencia frigorífica de la instalación [kcal/h].
- T es el tiempo mínimo de parada de los compresores [min].
- DT es incremento máximo de temperatura durante la parada de los compresores [°C].
- CEA es el calor específico del agua [Kcal/°C·l].

Teniendo en cuenta que la potencia frigorífica es 14,661 kW como hemos demostrado en el punto 1.3, el tiempo mínimo de parada es 6 min y el incremento de temperatura es igual a 30°C, la capacidad de nuestro depósito de inercia será de **42,028 l.**

Siguiendo este criterio, el depósito de inercia seleccionado es el **IM 0060 SI – 60l** de la marca Biosan.



## 2. PRESUPUESTO

En este apartado se incluye el presupuesto total de la obra así como un resumen final, teniendo en cuenta varios impuestos o conceptos como son la seguridad y salud, gastos generales, beneficio industrial e IVA.

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
1	<b>Diseño de una instalación de suelo radiante/refrescante con apoyo de energía geotérmica para una vivienda Unifamiliar</b>			
01	<b>Instalación de ACS</b>			
1.1	<b>Bomba de recirculación Wilo-Stratos-Z 40/1-8</b> Bomba de recirculación de rotor húmedo con conexión roscada o embreada y motor EC con adaptación automática de la potencia	1,00	2.442,00	2.442,00
1.2	<b>Acumulador 150 l de acero inoxidable con protección catódica</b> Acumulador 150 l de acero inoxidable con protección catódica. Circuito secundario fabricado en acero inoxidable, muy eficaz contra la corrosión. Incluye protección catódica permanente	1,00	1.331,00	1.331,00
1.3	<b>Tubería 32mm</b> Tubería de 32x6,2 de PEX reticulado	50,00	6,05	302,50
1.4	<b>Válvula de esfera 1 1/4"</b> Válvula de esfera con palanca roja 1 1/4" marca Salvador Escada	24,00	18,88	453,12
1.5	<b>Válvula antirretorno 1 1/4"</b> Válvula antirretorno, válvula unidireccional o de retención, evita que el fluido líquido regrese a la línea de suministro. Sólo permite que el fluido pase a través de la válvula en una dirección. Cuando no hay suministro, la válvula se cierra automáticamente.	3,00	11,06	33,18
1.6	<b>Válvula 3 vías</b> Válvula modelo VLE132.15-4 1/2" (3 vías) marca Salvador Escoda SA	3,00	128,15	384,45
1.7	<b>Codos 90° 32x32</b> Codo 90° marca Industrial Blansol SA	9,00	16,07	144,63
1.8	<b>Te</b> Te simple de 32x32 marca Industrial Blansol SA	13,00	24,56	319,28
1.9	<b>Manómetro 1 1/4"</b> Manómetro de presión de agua de 1 1/4" marca Ibérica del Calor	1,00	6,37	6,37
1.10	<b>Termómetro 1 1/4"</b> Termómetro de inmersión con vaina poscaja de acero	1,00	6,70	6,70
<b>TOTAL 01</b> .....				<b>5.423,23 €</b>

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
<b>02</b>	<b>Instalación geotérmica</b>			
2.1	<b>u Estudio previo del terreno para realización de perforaciones</b> Estudio del marco geológico y geomorfológico, estudio histórico y arqueológico, documentación gráfica y administrativa. Elaboración del informe de los trabajos realizados incluyendo el estudio histórico, pelontológico y arqueológico con los datos recogidos en el trabajo de campo.	1,00	3.750,00	3.750,00
2.2	<b>u Bomba de calor reversible geotérmica</b> Bomba de calor reversible geotérmica 16kW Trifásica. Incluye:  - Regulación (sonda de temperatura y humedad interior, display digital). - Sonda de temperatura exterior. - Sonda de inmersión acumulador de a.c.s. - Sonda para apoyo externo (eléctrico o caldera)	1,00	8.300,00	8.300,00
2.3	<b>u Excavación mecánica de pozo de 69m de profundidad</b> Excavación mecánica de pozo de 110 m de profundidad para instalación de sondas geotérmicas, con camisa de hierro de sustentación para los primeros 10 m. Diámetro máximo de perforación de 130 mm., totalmente montado e instalado según especificaciones.	3,00	3.105,00	9.315,00
2.4	<b>u Suministro de sonda geotérmica DN40</b>  Tubería de polietileno reticulado Uponor PEX, fabricada según el exclusivo método Engel (PE-Xa). Certificada por AENOR según norma EN ISO 15875-2 y con grado de reticulación superior al exigido por dicha norma. Adecuado para todo tipo de Captadores Geotérmicos Verticales, Pilotes Geotérmicos y como tubería de suministro y retorno. SDR 11. Temperatura ambiente de trabajo -50 °C a 95 °C. Sistema de unión Q&E único y exclusivo de Uponor. Pie de sonda con curva U 180° electrosoldada, con unión para sonda doble y unión para lastre. Rollo de 80m	3,00	1.276,66	3.829,98
2.5	<b>m Suministro de tubo de conexión entre sondas geotérmicas y el colector de 75x6,8</b> Tubería Uponor Aqua Pipe fabricada en en polietileno reticulado (PEX-a) de la más alta calidad y diseñadas para su utilización en instalaciones de fontanería y como tuberías de distribución.	50,00	34,15	1.707,50
2.6	<b>u Peso de 10,5 kg para colocación en pie de sonda vertical</b> Peso con lastre de extremo redondeado y puntos de enganche. Cuerpo de fundición revestido de carcasa de PE con compuestos minerales.	3,00	55,01	165,03
2.7	<b>u Distanciadore-centrador sonda DN40</b> Distanciadore-centrador sonda DN40	3,00	5,25	15,75
2.8	<b>u Codo 90° 40x40</b> Codo 90° marca Industrial Blansol SA	9,00	16,48	148,32
2.9	<b>u Válvula de esfera 1 1/2"</b> Válvula de esfera con palanca roja 1 1/2" marca Salvador Escada	6,00	26,80	160,80
2.10	<b>u Válvula antirretorno 1 1/2"</b> Válvula antirretorno, válvula unidireccional o de retención, evita que el fluido líquido regrese a la línea de suministro. Sólo permite que el fluido pase a través de la válvula en una dirección. Cuando no hay suministro, la válvula se cierra automáticamente.	1,00	13,27	13,27
2.11	<b>u Manómetro 1 1/2"</b> Manómetro con baño de glicerina de 1 1/2"	2,00	11,20	22,40
2.12	<b>u Termómetro bimetalico con vaina</b> Termómetro bimetalico con vaina con caja de acero galvanizado	1,00	12,30	12,30

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
2.13	<b>u Colectores Impulsión y Retorno</b> Incluye válvulas de equilibrado hidráulico en el colector de retorno y válvulas de bola en el colector de impulsión. Purgador de aire en ambos colectores. Conexión en 63-90 mm a bomba de calor geotérmica y salidas en 40 mm hacia colectores geotérmicos. Presión máxima 6 bar.	1,00	2.081,76	2.081,76
2.14	<b>l Solución anticongelante agua-monopropilenglicol, concentración de anticongelante puro del 30%.</b> Suministro e instalación del fluido caloportador. Etilenglicol puro. Mezcla al 30% con agua, ejecutado según especificaciones.	312,00	5,28	1.647,36
2.15	<b>m³ Relleno de mortero 1,43kg/m3</b> Suministro e instalación de material para relleno de la perforación geotérmica. Mezcla preparada resistente a heladas según DIN 52104-A. Denominación RAUGEO Therm 1.2: densidad 1,43 kg/dm3, resistencia a compresión 28d 4N/mm², permeabilidad al agua < 1x10 <sup>-19</sup> , necesidades de 8,67 m3, ejecutado según especificaciones	3,20	339,00	1.084,80
2.16	<b>m³ Transporte tierra vert. &lt;20km.</b> Transporte de tierras al vertedero, a una distancia menor de 20 km., considerando ida y vuelta, con camión bañera basculante y canon de vertedero y con p.p. de medios auxiliares, sin incluir la carga.	4,50	92,49	416,21
<b>TOTAL 02.....</b>				<b>32.670,48 €</b>
<b>03</b>	<b>Instalación de suelo radiante/refrescante</b>			
3.1	<b>u Bomba de recirculación Wilo-Stratos-Z 30/1-12</b> Bomba de recirculación de rotor húmedo con conexión roscada o embrizada y motor EC con adaptación automática de la potencia	1,00	1.912,00	1.912,00
3.2	<b>m Tubería distribución 16x1,8</b> Tubería Uponor Wirsbo-evalPEX de 16x1,8	2440,00	1,52	3.708,80
3.3	<b>m Tubería distribución 40x3,7</b> Tubería Uponor Wirsbo-evalPEX de 40x3,7	65,00	17,23	1.119,95
3.4	<b>u Válvula de esfera 1 1/2"</b> Válvula de esfera con palanca roja 1 1/2" marca Salvador Escada	18,00	26,80	482,40
3.5	<b>u Manómetro 1 1/2"</b> Manómetro con baño de glicerina de 1 1/2"	3,00	11,20	33,60
3.6	<b>u Termómetro bimetalico con vaina</b> Termómetro bimetalico con vaina con caja de acero galvanizado	3,00	8,45	25,35
3.7	<b>u Válvula antirretorno 1 1/2"</b> Válvula antirretorno, válvula unidireccional o de retención, evita que el fluido líquido regrese a la línea de suministro. Sólo permite que el fluido pase a través de la válvula en una dirección. Cuando no hay suministro, la válvula se cierra automáticamente.	5,00	13,27	66,35
3.8	<b>u Válvula de equilibrado DN40</b> Válvula de equilibrado con volante digital, dispositivo de vaciado incorporado, con altas características anti corrosivas, PN20 y temperaturas entre -20°C y 120°C	1,00	160,55	160,55
3.9	<b>u Purgador de aire DN40</b> Purgador de aire de 1 1/2"	1,00	9,63	9,63

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
3.10	<p><b>m<sup>2</sup> Panel portatubos</b>  Panel de tetones fabricado en poliestireno expandido (EPS) con recubrimiento plastificado. Cumple con la normativa UNE-EN 1264 y con los requisitos de aislamientos térmicos y acústicos frente a ruido por impacto del CTE. Válido para tubería desde 16 mm hasta 20 mm. El recubrimiento plastificado fabricado en PE permite la unión entre paneles mediante doble machihembrado y un paso de tubería de 75 mm. <math>R_t = 2,0 \text{ m}^2\text{K/W}</math>.</p>	324,00	23,92	7.750,08
3.11	<p><b>m Zócalo perimetral</b>  Banda de espuma de polietileno. Absorbe las dilataciones del mortero de cemento.</p>	250,00	2,39	597,50
3.12	<p><b>kg Aditivo para mortero</b>  Evita la inclusión de aire en el mortero facilitando la adhesión a las tuberías Uponor PEX con barrera antidifusión de oxígeno.</p>	160,00	8,90	1.424,00
3.13	<p><b>Multi desbobinador móvil</b>  Desbobinador móvil válido para diámetros de tubería hasta 25 mm. Cuenta con cuatro brazos de sujeción y guía de tubería. Capacidad máxima: 170 kg.  Fabricado en acero galvanizado.  Peso: 21,5 kg.</p>	1,00	299,29	299,29
3.14	<p><b>m<sup>2</sup> Multi film antihumedad</b>  Se recomienda su utilización sobre forjados que se encuentren en contacto con el terreno. Evita el ascenso de la humedad por capilaridad y por lo tanto la posibilidad de crear puentes térmicos.</p>	200,00	1,12	224,00
3.15	<p><b>u Colector kit 2 salidas</b>  Fabricado en material plástico de alta resistencia libre de oxidaciones que soporta hasta 95° C y una presión de 6 bar en condiciones puntuales. Fácil montaje a mano y redimensionamiento futuro de la instalación.</p>	3,00	214,00	642,00
3.16	<p><b>u Módulo básico colector 1 salida</b>  Fabricado en material plástico de alta resistencia, que soporta hasta 95°C y una presión de 6 bar en condiciones puntuales. Material libre de oxidaciones.</p>	20,00	40,50	810,00
3.17	<p><b>u By-pass colector</b>  By-pass para conectar directamente sobre el colector Uponor, provisto de una válvula de presión diferencial. Permite recircular el caudal de la bomba en caso de que cierren los circuitos de la instalación. Válido para los grupos que no tienen by pass incorporado.</p>	3,00	95,00	285,00
3.18	<p><b>u Caja colectores CI para 6 salidas</b>  Caja fabricada en acero galvanizado de 1mm de espesor. La altura de la caja es de 770 mm y extensible hasta 145 mm adicionales, gracias a los soportes regulables. La profundidad de la caja es de 80 mm, siendo posible empotrarla hasta un máximo de 110 mm en la pared si se utiliza la tapa con marco.  Cuenta con barra curvatubos y pletina para recepción del yeso. De 5 a 7 salidas</p>	1,00	167,00	167,00
3.19	<p><b>u Caja colectores CI para 8 salidas</b>  Caja fabricada en acero galvanizado de 1mm de espesor. La altura de la caja es de 770 mm y extensible hasta 145 mm adicionales, gracias a los soportes regulables. La profundidad de la caja es de 80 mm, siendo posible empotrarla hasta un máximo de 110 mm en la pared si se utiliza la tapa con marco.  Cuenta con barra curvatubos y pletina para recepción del yeso. De 8 a 10 salidas</p>	1,00	190,00	190,00
3.20	<p><b>u Caja colectores CI para 12 salidas</b></p>	1,00	214,00	214,00

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
	Caja fabricada en acero galvanizado de 1mm de espesor. La altura de la caja es de 770 mm y extensible hasta 145 mm adicionales, gracias a los soportes regulables. La profundidad de la caja es de 80 mm, siendo posible empotrarla hasta un máximo de 110 mm en la pared si se utiliza la tapa con marco. Cuenta con barra curvatubos y pletina para recepción del yeso. De 11 a 12 salidas			
3.21	<b>u Radio Control System</b> Unidad de control termostático Evolution C56 Radio Control System. Incluye antena y display I76 Evolution Radio Control System.	1,00	618,00	618,00
3.22	<b>u Centralita C46 con accesorios</b> Centralita electrónica para la regulación de la temperatura de impulsión. Válida para instalaciones calefacción y refrigeración. Posibilidad de controlar hasta 6 sondas de humedad. Incluye control de la temperatura de impulsión en modo refrigeración por compensación interior y punto de rocío. Incluye: Sonda de temperatura exterior y cable (5 m). Sonda de impulsión/retorno (4m). Antena para conexión con termostatos y sonda inalámbrica y cable (3m). Sonda inalámbrica de humedad relativa H56 (posibilidad de conectar 6 en total.). Sonda de superficie	1,00	1.136,00	1.136,00
3.23	<b>u Módulo U@home</b> El módulo Uponor Radio 24V U@home es un componente de control remoto que permite un mayor control de la instalación al usuario final y al instalador. Actúa como interlocutor entre Uponor Radio 24V caja de conexiones C56 y cualquier dispositivo móvil smart, como son teléfono, tablet (IOS o Android), televisor u ordenador	1,00	395,00	395,00
2.24	<b>u Termostato Premium Radio Control System</b> El único termostato que mide la temperatura operativa, gracias a la sonda que incorpora. Esto permite reducir el consumo energético en la vivienda.	8,00	168,00	1.344,00
<b>TOTAL 03.....</b>				<b>23.614,50 €</b>
<b>04</b>	<b>Mano de obra y otros</b>			
4.1	<b>h Jefe de Obra</b>	400,00	18,70	7.480,00
4.2	<b>h Encargado</b>	400,00	14,90	5.960,00
4.3	<b>h Oficial primera</b>	400,00	12,85	5.140,00
4.4	<b>h Ayudante</b>	400,00	10,60	4.240,00
4.5	<b>h Peón ordinario</b>	320,00	8,90	2.848,00
4.6	<b>u Casetas de obra</b>	5,00	80,00	400,00
4.7	<b>u Abastecimiento de luz</b>	2,50	150,00	375,00
4.8	<b>u Abastecimiento de agua</b>	2,50	100,00	250,00
<b>TOTAL 04.....</b>				<b>26.693,00 €</b>
<b>TOTAL.....</b>				<b>88.401,21 €</b>



# RESUMEN DE PRESUPUESTO

CAPÍTULO

RESUMEN

IMPORTE

<b>1.</b>	<b>Diseño de una instalación de suelo radiante/refrescante con apoyo de energía geotérmica para una vivienda unifamiliar .....</b>	<b>90.169,23 €</b>
01	Instalación de ACS.....	5.423,23 €
02	Instalación geotérmica .....	32.670,48 €
03	Instalación de suelo radiante/refrescante.....	23.614,50 €
04	Mano de obra y otros .....	26.693,00 €
<b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL</b>		<b>88.401,21 €</b>
	1,5 % Seguridad y Salud.....	1.326,02 €
	19,00 % GG + BI.....	16.796,23 €
<b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN SIN IVA</b>		<b>106.523,46 €</b>
	21% IVA.....	22.369,93 €
<b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN</b>		<b>128.893,38 €</b>

Asciede el presupuesto a la expresada cantidad de CIENTO VEINTIOCHO MIL OCHOCIENTOS NOVENTA Y TRES EUROS con TREINTA Y OCHO CÉNTIMOS

### 3. CONCLUSIONES

Como bien sabemos, el objetivo de la tecnología es hacer la vida del ser humano lo más sencilla posible y así aumentar su grado de bienestar. Por otro lado, los seres humanos pasamos la mayoría del tiempo dentro de nuestros hogares. Teniendo en cuenta estos dos conceptos e intentando unificarlos se ha realizado este proyecto consistente en diseñar un sistema de climatización, que haga la estancia mucho más confortable, siendo el resultado un sistema de suelo radiante/refrescante.

Otra de las inquietudes que teníamos a la hora de diseñar nuestro proyecto era el ahorro energético. En la situación en la que se encuentra hoy en día la ciencia nos resultaba un atraso combinar nuestro sistema de climatización con una caldera convencional utilizando una fuente de energía no renovable ya que creemos que la tecnología y la sostenibilidad deben ir juntas en la medida de lo posible.

Teniendo todo esto en cuenta, y tal y como hemos justificado a lo largo de la memoria, decidimos combinar nuestro sistema de suelo radiante con energía geotérmica.

El resultado de dicha combinación ha sido más que favorable como comentaremos a continuación, tratando primeramente cada sistema por separado y posteriormente ambos de manera conjunta.

El sistema de captación por pozos geotérmicos resulta desde el punto de vista energético bastante eficaz, ya que nos permite trabajar con pequeños saltos de temperaturas. Desde el punto de vista estético también nos parece bastante correcto, ya que al estar enterradas las sondas nos permite un mayor aprovechamiento del terreno y ningún impacto visual. Es a nivel constructivo y económico donde se le podrían poner ciertas pegas, puesto que la realización de los pozos conlleva una gran cantidad de escombros y el uso de maquinaria muy pesada, lo que hace que incremente de manera considerable el coste final. También puede resultar algo complicada la existencia de averías en el circuito.

En cuanto al sistema de suelo radiante se podría decir que prácticamente son todas ventajas, sobre todo al tratarse de una obra de nueva instalación. Como se ha mencionado, la característica más destacada de este sistema es la baja temperatura del punto de trabajo comparada con el resto de sistemas. Este punto juntamente con la capacidad de operar tanto en invierno como en verano con el mismo sistema han sido determinantes desde el principio. Respecto a lo que la sostenibilidad se refiere, al trabajar directamente con agua evitamos tener ningún tipo de residuo contaminante y/o difícil de eliminar. El suelo radiante también es conocido como suelo invisible. Este punto puede llegar a ser bastante determinante en algunos casos, ya que no quita espacio útil de la vivienda y además no afecta visualmente.

La combinación de ambos sistemas resulta óptima a nivel energético ya que nos asegura unos saltos de temperaturas mínimos a lo largo de todo un ciclo estacional, es decir, nos produce un gran ahorro en climatización. Y como hemos mencionado recientemente, nos permite de igual manera trabajar tanto como sistema de calefacción como de refrigeración.

Como resumen final decir que se trata de una instalación con una alta inversión inicial pero un gran ahorro a largo plazo, por lo tanto, sería una inversión amortizable. Y un sistema óptimo



para el confort del ser humano en todos sus aspectos.

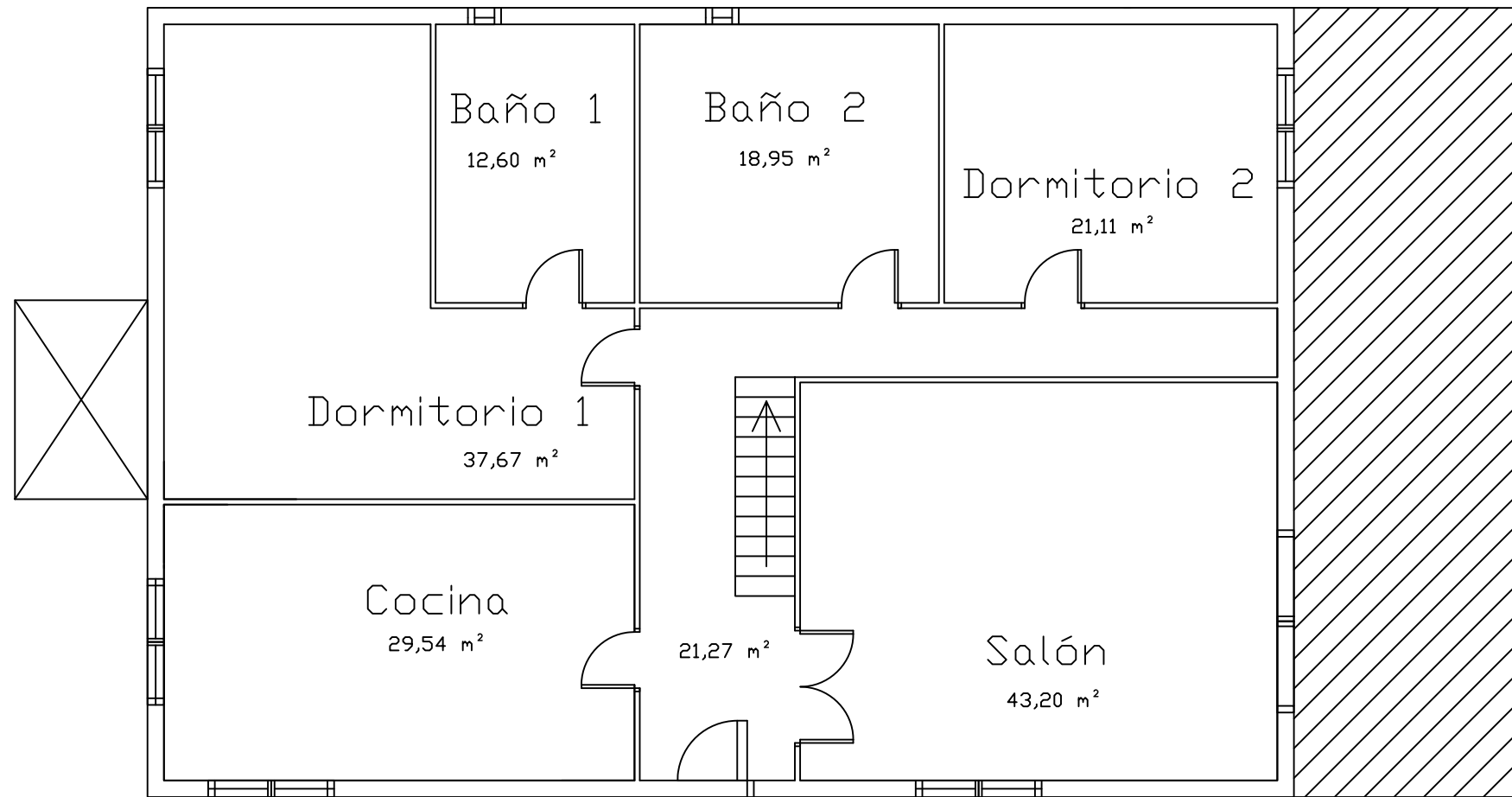
Como continuación del proyecto sería interesante realizar el estudio económico de amortización teniendo en cuenta inversión inicial, subvenciones, consumos y tarifas eléctricas.



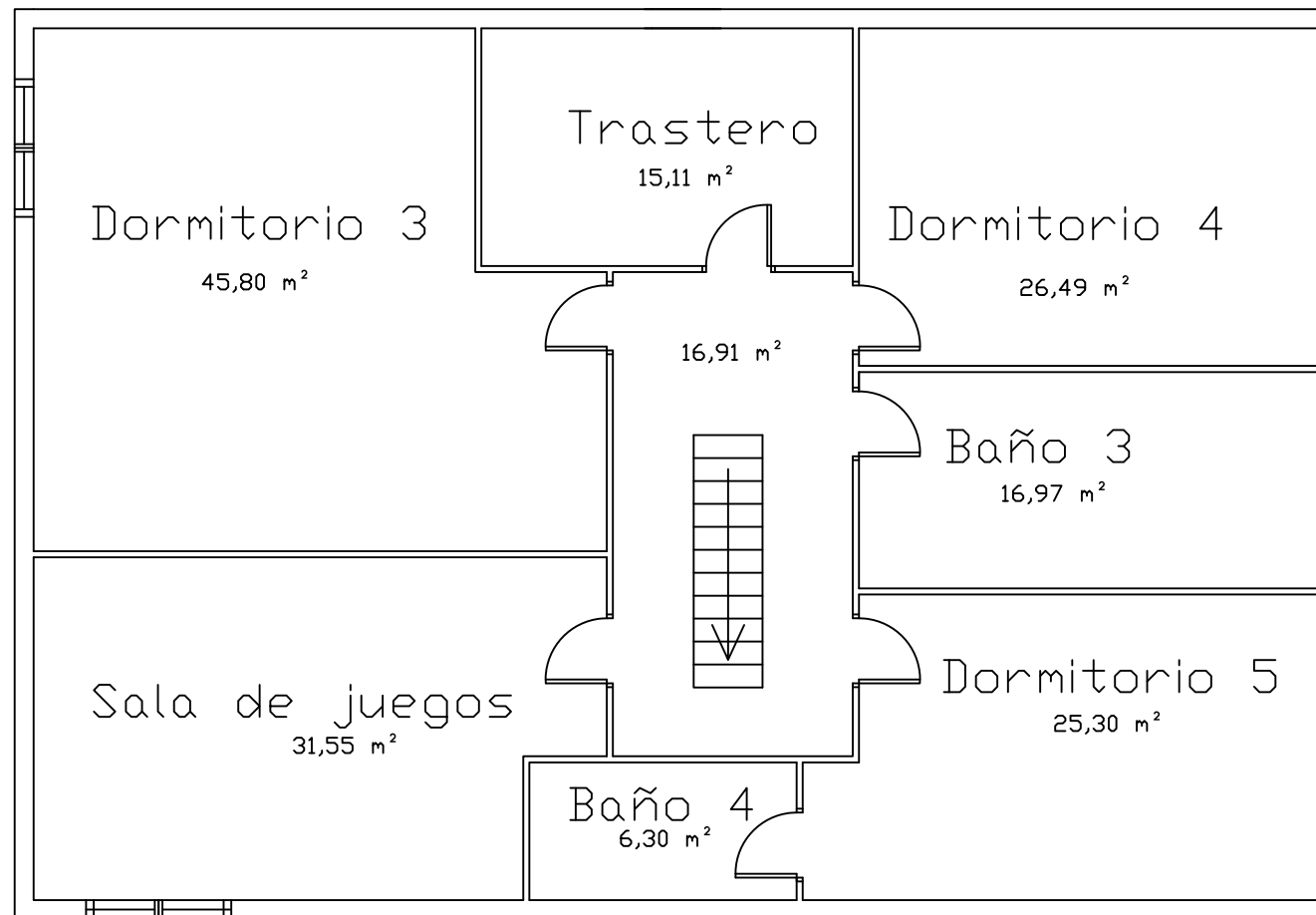
#### 4. PLANOS

1	Recintos.....	164
2	Planta.....	165
3	Locales de admisión y extracción.....	166
4	Esquema de principio.....	167
5	Circuitos suelo radiante/refrescante.....	168
6	Circuito A.C.S.....	169





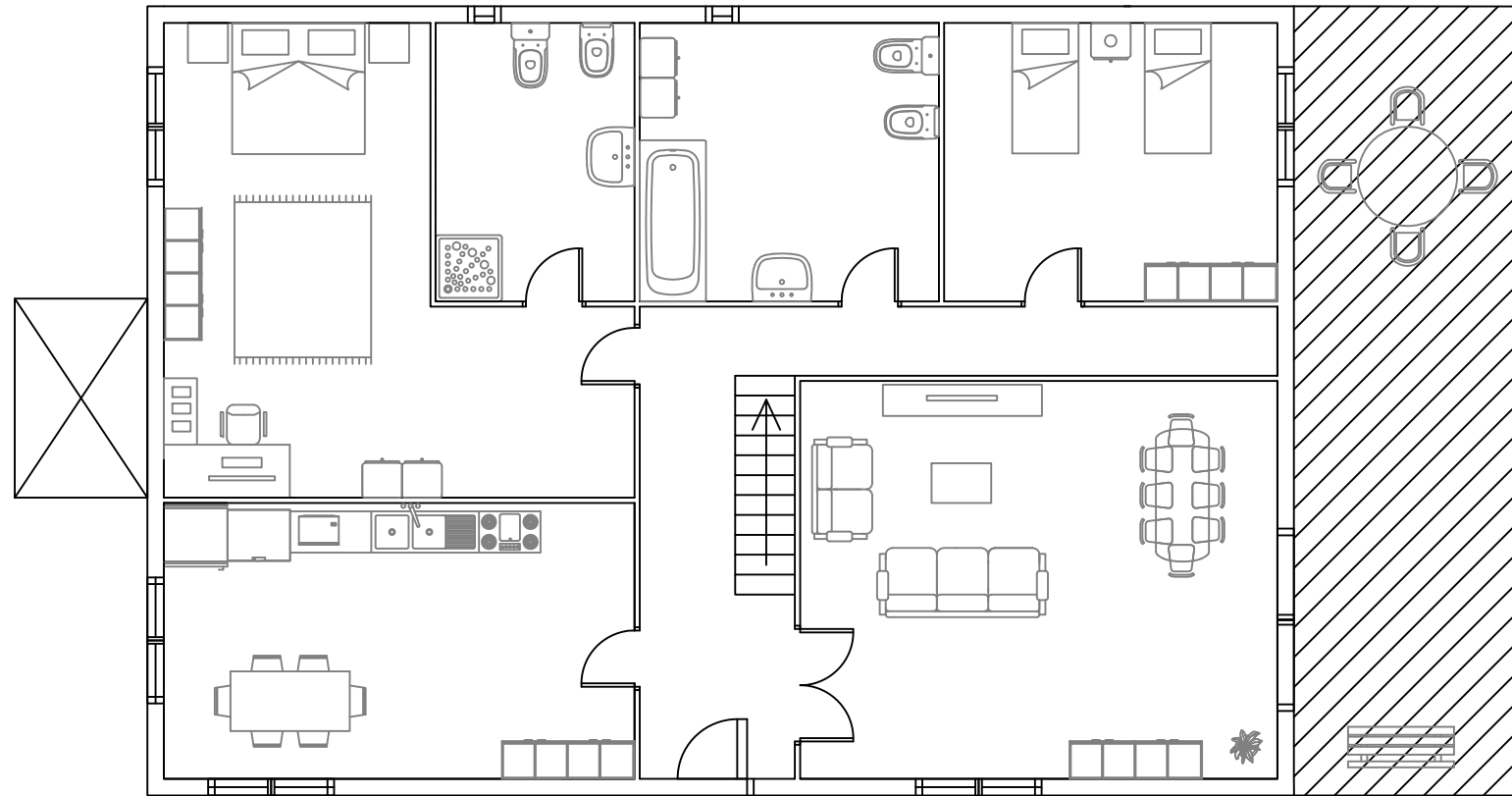


Planta baja

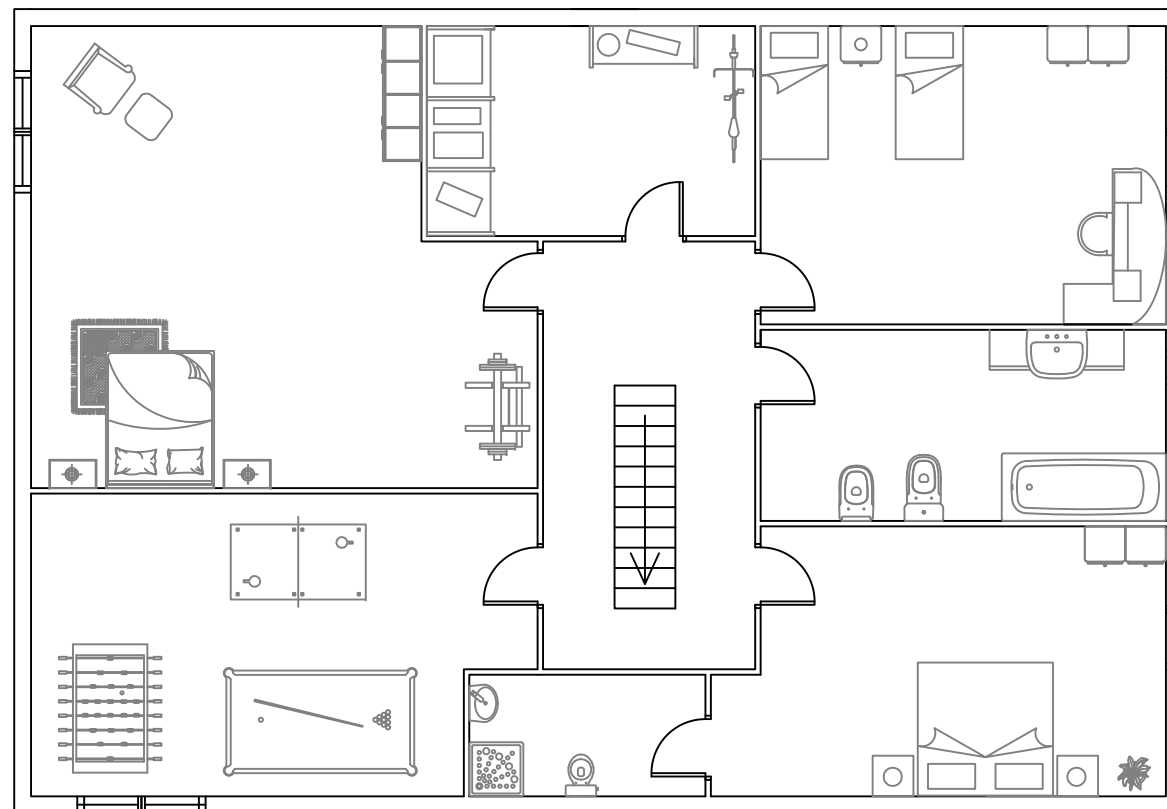


Planta primera

	TFG: "Diseño de una instalación de suelo radiante con apoyo de energía geotérmica para una vivienda unifamiliar"		
	Escala: S/E	Plano: Recintos	
Fecha: 24/08/2016	Autor: Pablo Pérez Sánchez	N° Plano: 1	



Planta baja



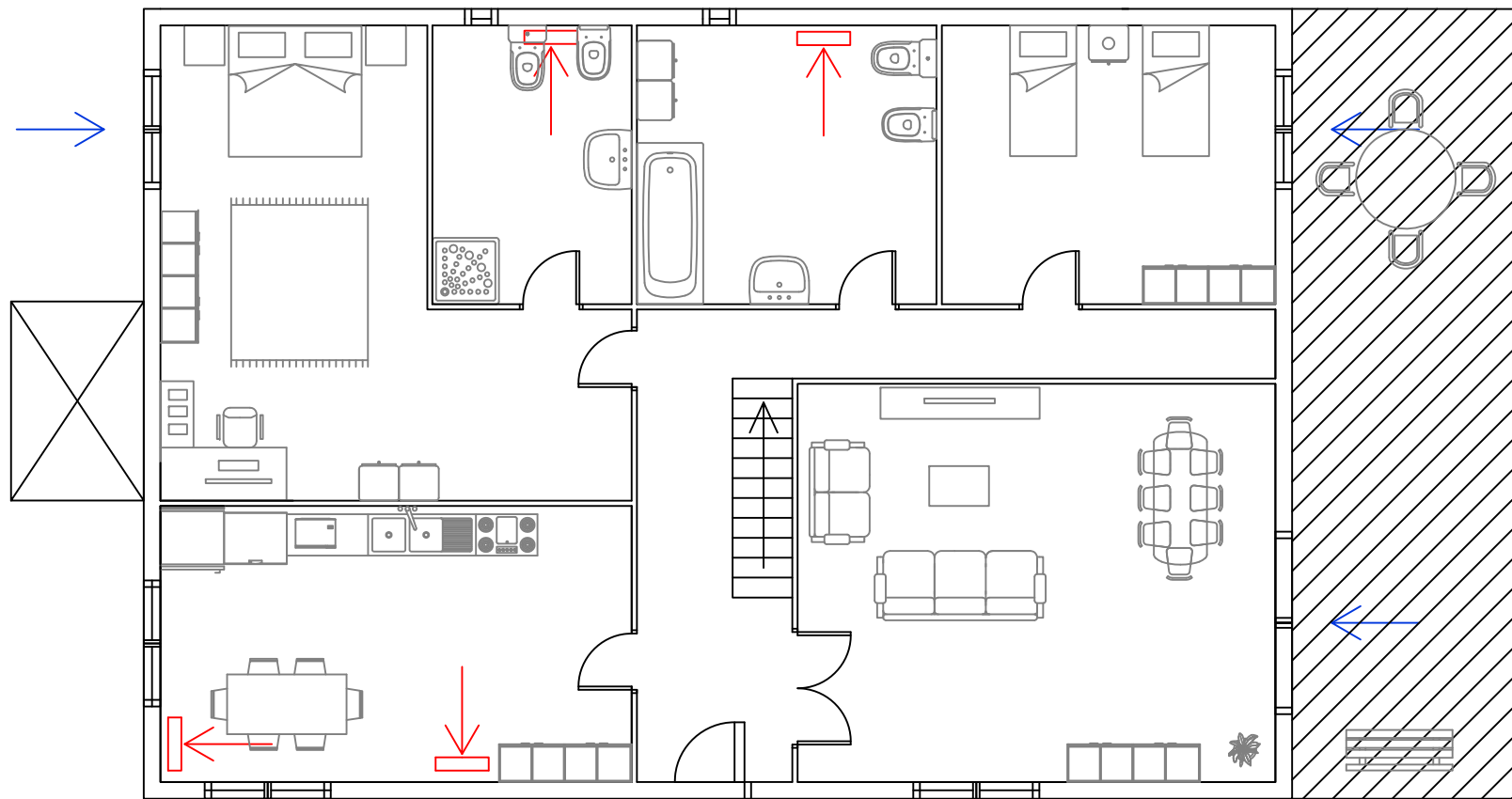
Planta primera






TFG: "Diseño de una instalación de suelo radiante con apoyo de energía geotérmica para una vivienda unifamiliar"

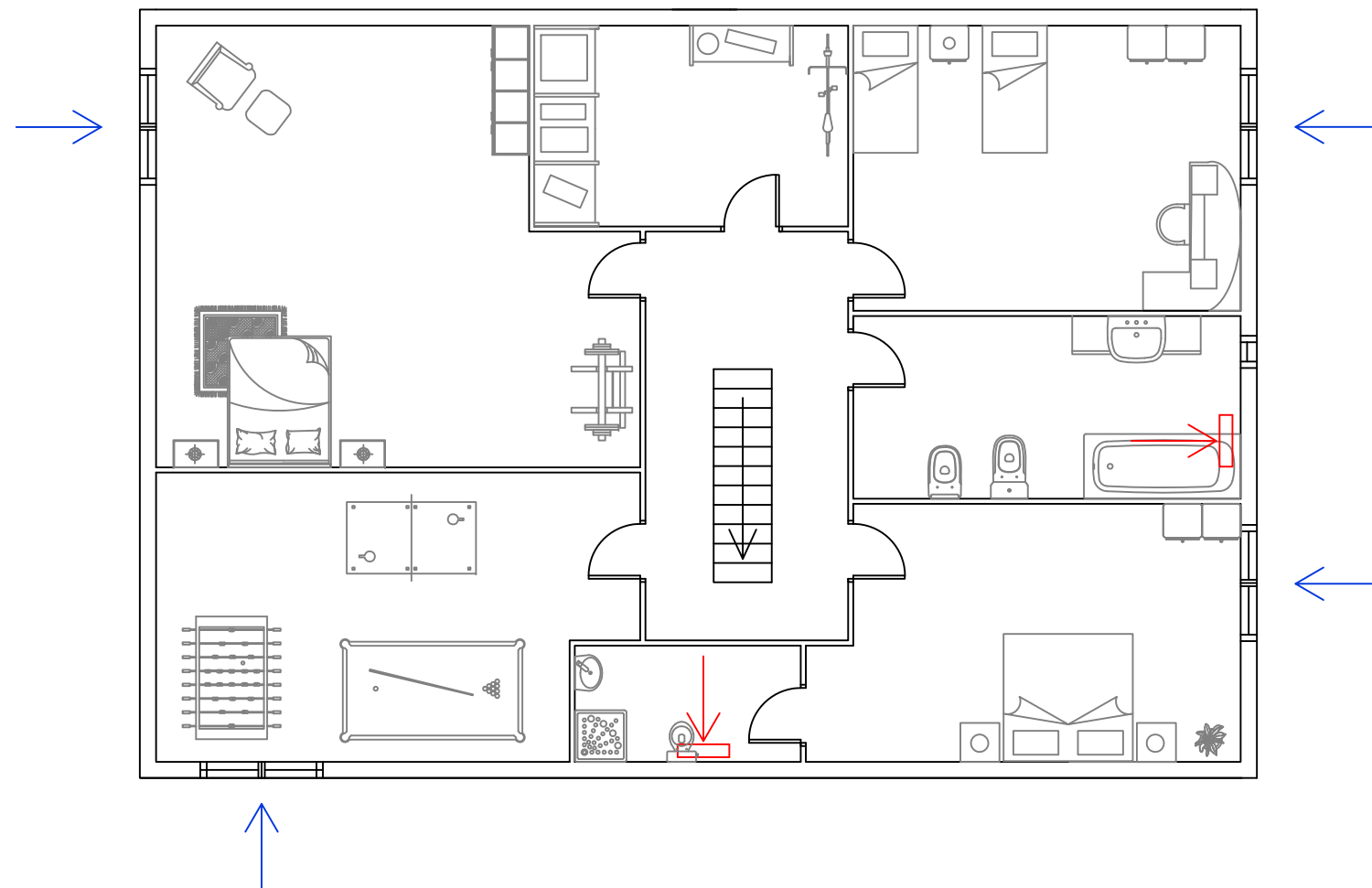


Escala: S/E	Plano: Plantas	
Fecha: 24/08/2016	Autor: Pablo Pérez Sánchez	N° Plano: 2





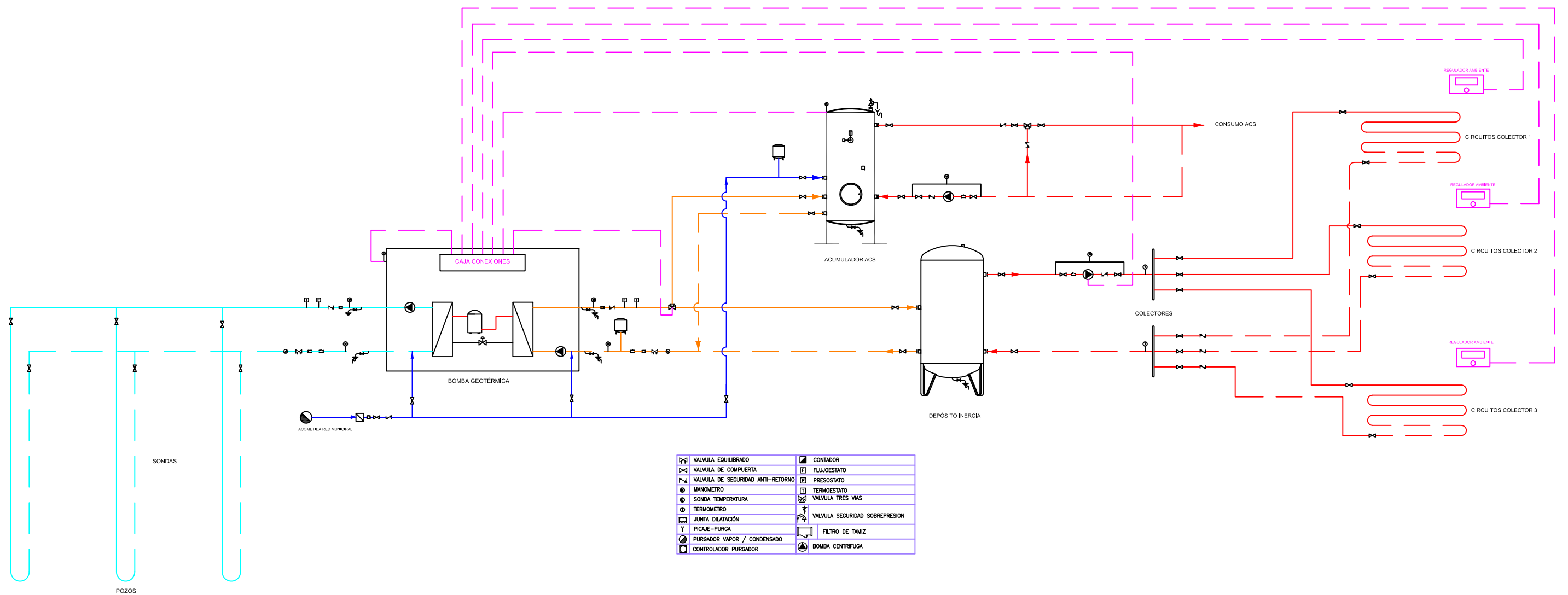
Planta baja


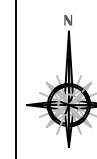
-  Admisión
-  Extracción
-  Paso



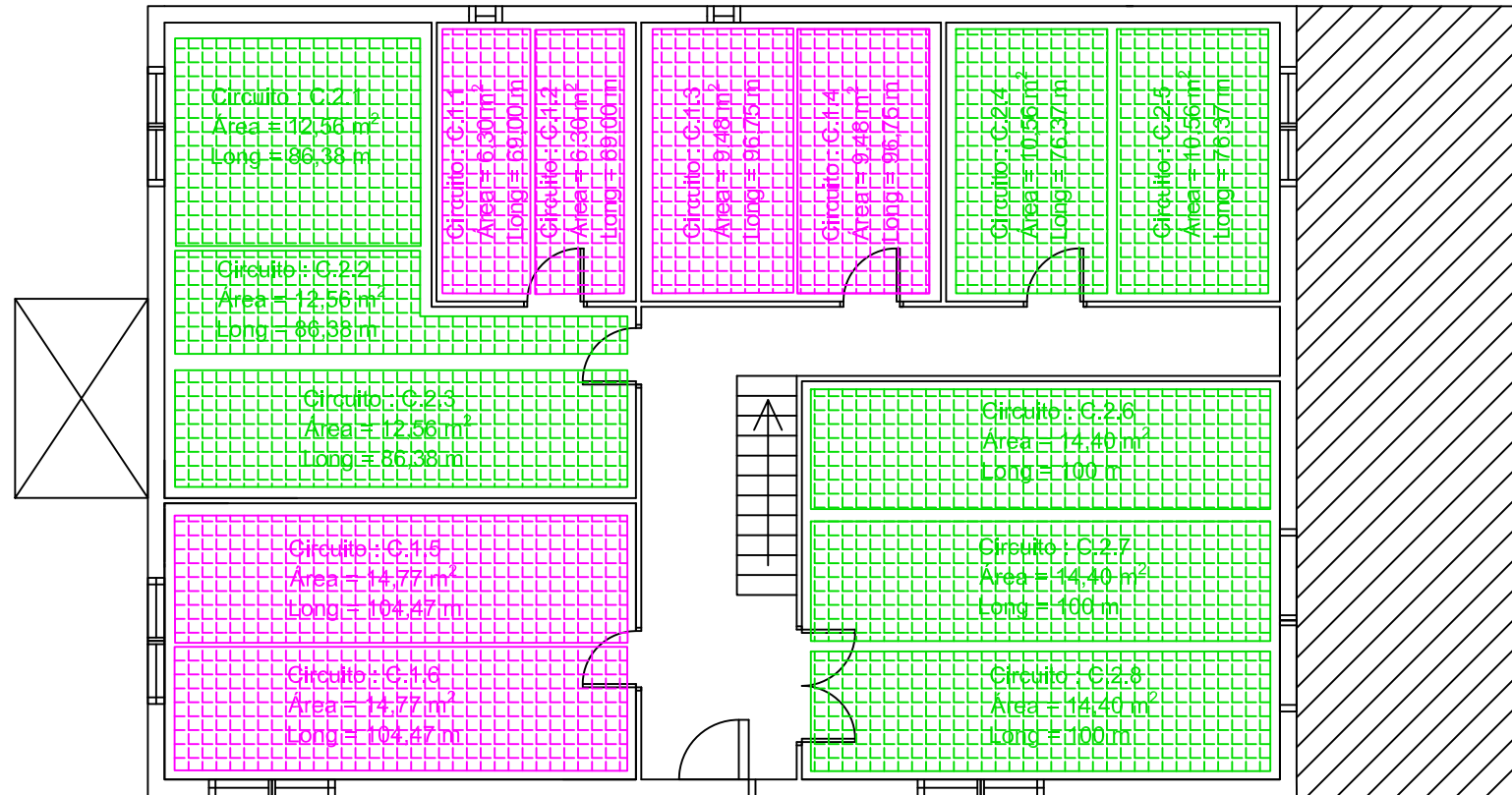
Planta primera

	TFG: "Diseño de una instalación de suelo radiante con apoyo de energía geotérmica para una vivienda unifamiliar"		
	Escala: S/E	Plano: Locales de admisión y de extracción	
Fecha: 24/08/2016	Autor: Pablo Pérez Sánchez	N° Plano: 3	

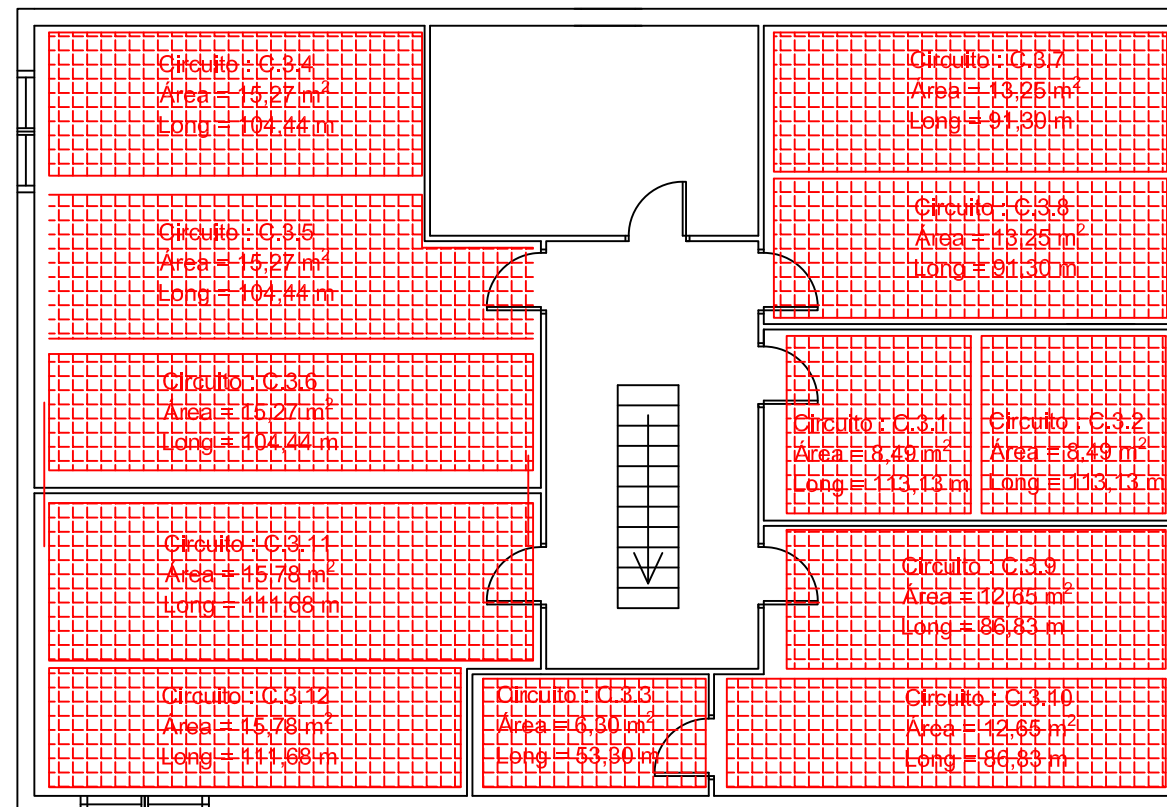


	TFG: "Diseño de una instalación de suelo radiante con apoyo de energía geotérmica para una vivienda unifamiliar"		
	Escala: S/E	Plano: Esquema de principio	
Fecha: 24/08/2016	Autor: Pablo Pérez Sánchez	N° Plano: 4	





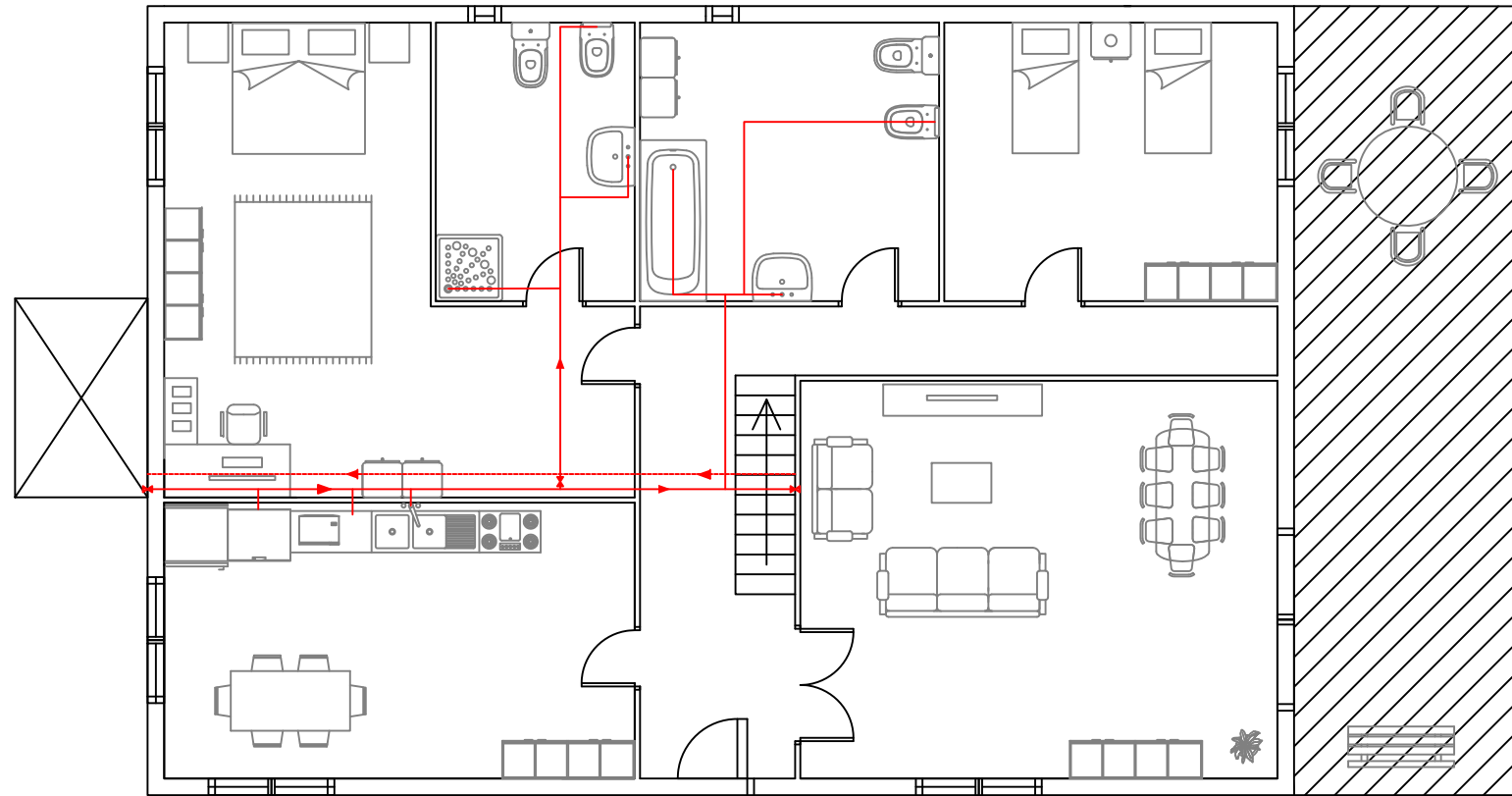


Planta baja

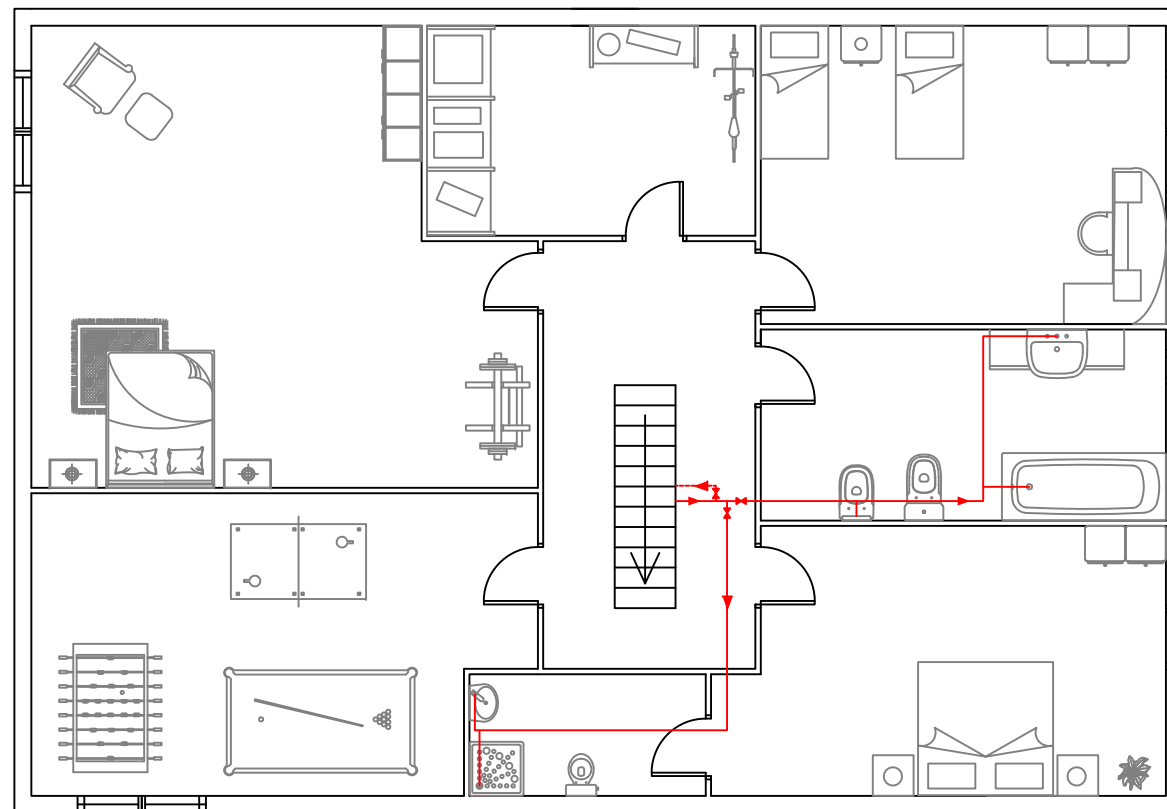


Planta primera

	TFG: "Diseño de una instalación de suelo radiante con apoyo de energía geotérmica para una vivienda unifamiliar"		
	Escala: S/E	Plano: Circuitos suelo radiante	
Fecha: 24/08/2016	Autor: Pablo Pérez Sánchez	N° Plano: 5	



Planta baja



Planta primera



TFG: "Diseño de una instalación de suelo radiante con apoyo de energía geotérmica para una vivienda unifamiliar"



Escala: S/E	Plano: Distribución ACS	
Fecha: 24/08/2016	Autor: Pablo Pérez Sánchez	N° Plano: 6

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020. IDAE
- [2] Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
- [3] [https://es.wikipedia.org/wiki/Calentamiento\\_global](https://es.wikipedia.org/wiki/Calentamiento_global)
- [4] Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020. IDAE
- [5] <https://es.wikipedia.org/wiki/Hipocausto>
- [6] <http://wol.jw.org/es/wol/d/r4/lp-s/102003568>
- [7] I Congreso de Climatización Eficiente. Estudio Comparativo del suelo radiante con radiadores de aluminio a media y baja temperatura.
- [8] Manual suelo invisible Uponor.
- [9] <http://power.sitios.ing.uc.cl/alumno14/geoterm/23-2/index.html>
- [10] IGME. La geotermia en el mundo
- [11] IGME. La geotermia en España
- [12] Documento Anexo de la Guía de la Energía Geotérmica. FENERCOM
- [13] Guía Técnica “Diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado”. MINETUR-IDAE
- [14] <http://info.igme.es/cartografia/magna50.asp?hoja=559&bis=>
- [15] Documento Básico Ahorro de Energía. Limitación de la demanda energética (DB HE1)
- [16] Documento Básico Salubridad. Calidad del aire interior. (DB HS3)
- [17] Código Técnico de Edificación (CTE)
- [18] Guía Técnica de Agua Caliente Sanitaria Central. MINETUR-IDEA
- [19] [www.wilo.es](http://www.wilo.es)
- [20] [www.baxi.es](http://www.baxi.es)
- [21] Norma UNE 94002/95
- [22] [www.buderus.es](http://www.buderus.es)
- [23] Norma UNE EN 1264 “Sistemas de calefacción y refrigeración de circulación de agua integrados en superficies. Parte 2: Suelo radiante: Métodos para la determinación de la emisión térmica de los suelos radiantes por cálculo y ensayo”
- [24] [www.grupobiosan.es](http://www.grupobiosan.es)



[25] [www.ingemecanica.com](http://www.ingemecanica.com)

[26] "Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías". McGraw-Hill. 1992