



**CONAMA10**  
CONGRESO NACIONAL  
DEL MEDIO AMBIENTE

COMUNICACIÓN TÉCNICA

# **Análisis y estrategias de las energías renovables en España. La energía geotérmica. Proyecto de Instalación**

Autor: Elena María Fernández Rodríguez

Institución: Universidad de Oviedo

e-mail: efr.linera@gmail.com

Otros Autores: Jorge Xiberta Bernat (Universidad de Oviedo); Maria Jesus Blanco Acebal (Universidad de Oviedo)

## RESUMEN

La política energética de los últimos años en España ha contado con unos instrumentos que han hecho posible que nuestro país se haya convertido en un referente en Energías Renovables, principalmente en eólica y fotovoltaica, donde ocupa el primer y segundo puesto a escala mundial. El Proyecto cuyo título es 'Análisis y Estrategias de las EE.RR en España. La Energía Geotérmica. Proyecto de instalación', consta de dos partes. En la primera, se hace un recorrido por el panorama actual de las EE.RR. en España así como de las perspectivas de futuro y de su incidencia en los sectores eléctrico y térmico. Entre las EE.RR., una de las que cuenta con mayor futuro y potencial es la energía geotérmica. Mediante un estudio de las características fundamentales de esta fuente de energía se lleva a cabo en la segunda parte un proyecto de instalación geotérmica para cubrir la demanda de calefacción y producción de agua caliente sanitaria (ACS) en una vivienda unifamiliar. En él se analiza su viabilidad técnica y económica así como sus beneficios medioambientales. El sistema diseñado aprovecha de forma óptima tanto la inercia térmica del terreno exterior (energía geotérmica, acumulada en la superficie del planeta) como la inercia térmica de la estructura de la vivienda (energía acumulada en el suelo, paredes, techo) para mantener el interior de la vivienda en las condiciones de confort de diseño, minimizando los efectos de la temperatura exterior. Para ello se combina una bomba de calor geotérmica con una instalación de calefacción por suelo radiante de manera que se logra un sistema integral de eficiencia energética.

**Palabras Clave:** Geotermia de baja temperatura; calefacción; bomba de calor; sector residencial; eficiencia energética

## CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN .....	5
1. DESCRIPCIÓN DE LA VIVIENDA.....	5
2. INSTALACIÓN DE CALEFACCIÓN .....	6
3.1. SUELO RADIANTE.....	6
3.2. Características de materiales y equipos.....	20
4. DEMANDA DE ACS.....	22
5. GEOTERMIA.....	24
5.1. SISTEMA DE CAPTACIÓN GEOTÉRMICA.....	24
5.1.1. Sondeos de pozos.....	24
5.1.2. Circuito de captación geotérmica.....	24
5.1.3. Fluido caloportador .....	24
5.1.4. Circuito hidráulico primario .....	25
5.2. SISTEMA DE GENERACIÓN .....	25
5.2.1. Circuito secundario .....	25
5.2.2. Bomba de calor geotérmica.....	25
5.2.3. Depósito de inercia (buffer).....	26
5.2.4. Depósito de agua caliente sanitaria .....	26
6. ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN.....	26
7. EVALUACION ECONÓMICA .....	28
7.1. Presupuesto.....	28
7.2. Análisis de la rentabilidad. Recuperación de la inversión .....	29
8. BALANCE DE EMISIONES .....	33
9. CONCLUSIONES.....	34
10. BIBLIOGRAFÍA.....	34

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Nomenclatura circuitos planta primera .....	14
Figura 2. Nomenclatura circuitos planta baja .....	14
Figura 3. Nomenclatura circuitos planta sótano .....	15
Figura 4. Temperatura interior de diseño del local ( $T_i$ ) en función de la demanda térmica ( $Q$ ) y de la temperatura máxima superficial del pavimento ( $T_s$ ) .....	16
Figura 5. Gráfico de la temperatura de impulsión.....	18
Figura 6. Viabilidad económica. Retorno de la inversión.....	32

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Temperatura operativa (RITE).....	8
Tabla 2. Carga térmica de transmisión de calor ( $Q_t$ ) .....	10
Tabla 3. Carga térmica de ventilación ( $Q_v$ ) .....	11
Tabla 4. Carga térmica de los locales ( $Q$ ) .....	11
Tabla 5. Longitud de los circuitos.....	13
Tabla 6. Comparación de los sistemas de distribución de tuberías .....	15
Tabla 7. Temperatura media superficial del suelo.....	17
Tabla 8. Temperatura de impulsión.....	19
Tabla 9. Caudal de agua.....	20
Tabla 10. Características de las tuberías .....	20
Tabla 11. Características de los colectores.....	20
Tabla 12. Características de los armarios para colectores.....	20
Tabla 13. Características del panel aislante.....	21
Tabla 14. Temperatura media mensual Oviedo / Temperatura media del agua de red Asturias.....	23
Tabla 15. Demanda de ACS .....	23
Tabla 16. Presupuesto de la instalación.....	29
Tabla 17. Distribución de costes en la instalación.....	29
Tabla 18. Coste de las diferentes fuentes de energía .....	30
Tabla 19. Comparativa entre instalaciones .....	30
Tabla 20. Distribución de la energía.....	30
Tabla 21. Periodo de amortización de la inversión.....	30
Tabla 22. Subvención a la geotermia.....	31
Tabla 23. Periodo de amortización de la inversión con subvención .....	31
Tabla 24. Emisiones de $CO_2$ por fuentes de energía .....	33
Tabla 25. Cuadro comparativo de las emisiones de $CO_2$ - calefacción .....	33

## **I. INTRODUCCIÓN**

En el año 2007 la UE establece como objetivo obligatorio conseguir que el 20% de la energía consumida en el año 2020 sea generada a partir de fuentes renovables. En abril de 2009 se aprueba la Directiva 2009/28/CE relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables en la que se reconoce la energía geotérmica como una de ellas.

La tecnología geotérmica está implantada con éxito en los países más desarrollados del mundo debido a su gran rendimiento. A este respecto, la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los EEUU considera que la tecnología empleada por las bombas de calor geotérmicas es la más eficiente que existe a día de hoy para calefacción y refrigeración, considerándola ideal para aplicarla en edificios residenciales o comerciales. Actualmente la geotermia se empieza a desarrollar en España y se encuentra subvencionada por las administraciones autonómicas como fuente de energía renovable.

El sistema se basa en la transferencia de calor a través de colectores dispuestos verticalmente en el interior de sondeos geotérmicos u horizontalmente en zanjas o excavaciones. Por dentro de los colectores circula un líquido anticongelante que actúa como intercambiador captando el calor de la tierra y transportándolo hasta una bomba de calor geotérmica donde lo libera. En la bomba un líquido de bajo punto de ebullición absorbe el calor de los colectores y a través de un ciclo de evaporación y condensación aumenta su temperatura y la transfiere al sistema de calefacción de la vivienda. Parte del calor también se utiliza para calentar el agua caliente sanitaria (ACS).

Los sistemas que integran la bomba de calor geotérmica y el suelo radiante, aprovechan de forma óptima tanto la inercia térmica del terreno exterior (energía acumulada en la superficie terrestre) como la inercia térmica de la vivienda (energía acumulada en el suelo, paredes, techo) para mantener el interior de la casa en condiciones de confort, minimizando los efectos de la temperatura exterior.

### **1. DESCRIPCIÓN DE LA VIVIENDA**

La instalación geotérmica que se va a diseñar proporcionará la energía necesaria para cubrir las necesidades de calefacción y ACS de una vivienda unifamiliar situada en Oviedo (Asturias), que corresponde, según la Tabla D1 del DB HE1<sup>1</sup> del CTE, a la zona climática C1, con una altitud de 214 m.

La vivienda cuenta con tres plantas: sótano, baja y primera. La instalación de calefacción se hará en las plantas baja y primera. En cuanto a la planta sótano, sólo se instalará en la sala de estar, el aseo y el gimnasio. El sistema será de suelo radiante, como se justificará posteriormente. La superficie total a instalar es de 320 m<sup>2</sup>. La vivienda no dispone de sistema de refrigeración y cuenta con una envolvente térmica de muy buena calidad, con valores de transmitancias térmicas que superan los valores límites exigidos en el DB HE1 del CTE.

Se considera a efectos de cálculo que la vivienda tiene una ocupación de 6 personas, valor mínimo que recoge el DB HE4 del CTE en el punto 3.1.1.4. para una vivienda con 4 dormitorios.

<sup>1</sup> Documento Básico HE Ahorro de Energía – Código Técnico de Edificación

## 2. INSTALACIÓN DE CALEFACCIÓN

La instalación de calefacción de una vivienda está formada por los elementos de producción de calor, los elementos de distribución de esa energía calorífica, el sistema de regulación de la instalación y los elementos que emiten el calor al ambiente.

El objetivo principal en el diseño de esta instalación es ofrecer al usuario final las condiciones ambientales de confort mediante el sistema de calefacción con mayor eficiencia energética y menor agresividad por el medio ambiente.

### 3.1. SUELO RADIANTE

El sistema elegido es la calefacción por suelo radiante. El principio básico del sistema consiste en la impulsión de agua a media temperatura a través de circuitos de tuberías situados bajo el pavimento de los locales en los que se hará la instalación. Su característica principal es que toda la superficie del suelo actúa como emisor de calor.

#### Cálculo de las cargas térmicas de los locales

Antes de dimensionar la instalación de calefacción, es necesario conocer la carga térmica de la vivienda, que es la suma de las cargas térmicas de cada uno de los locales a calefactar en la misma.

La carga térmica de un local indica las pérdidas energéticas (expresadas en W) que el sistema de calefacción debe compensar para que el interior de la vivienda tenga las condiciones de confort deseadas.

La expresión de cálculo de la carga térmica de un local es la siguiente:  $Q = Q_t + Q_v + Q_i$  donde

$Q$  = Carga térmica de calefacción [W]

$Q_t$  = Carga térmica de transmisión de calor [W]

$Q_v$  = Carga térmica de ventilación [W]

$Q_i$  = Ganancia interna de calor [W]

Analizaremos por separado cada uno de los sumandos anteriores.

#### **Carga térmica de transmisión de calor ( $Q_t$ )**

Expresa el concepto de pérdidas de calor a través de los cerramientos del local debido a la desigualdad térmica entre el interior y el exterior. Responde a la siguiente expresión:

$$Q_t = Q_{to} \cdot (1 + Z_{Is} + Z_o)$$

donde

$Q_{to}$  = Pérdidas por transmisión sin suplementos [W]

$Z_{Is}$  = Suplemento por interrupción de servicio [%]

$Z_o$  = Suplemento por orientación [%]

#### -Suplemento por interrupción de servicio

El coeficiente  **$Z_{Is}$**  considera el exceso de energía que es necesario aportar a un local para conseguir las condiciones de confort de diseño tras una interrupción del servicio de calefacción. Su magnitud depende de la clase de servicio (horas al día de interrupción del servicio de calefacción).

#### -Suplemento por orientación

El coeficiente **Zo** considera el incremento extra de aporte energético a un local debido a la orientación de sus paredes exteriores.

#### -Pérdidas por transmisión sin suplementos

**Qto** depende de las temperaturas interior y exterior, de la conductividad térmica de los cerramientos del local y de la magnitud de las superficies de transmisión de calor. Se calcula mediante la expresión: **Qto = Σ [K·A·(Ti-Te)]** , donde:

- K = Coeficiente de transmisión térmica del cerramiento [W/m<sup>2</sup>°C]
- A = Superficie de transmisión de calor del cerramiento [m<sup>2</sup>]
- Ti = Temperatura interior de diseño del local [°C]
- Te = Temperatura de cálculo exterior [°C]

Cuando los cerramientos están compuestos de varias capas con materiales diferentes, el coeficiente de transmisión térmica del cerramiento se calcula como:

$$K = 1 / [\Sigma (e/\lambda) + (1/h_i) + (1/h_e)]$$

Donde:

- λ = Conductividad térmica del material de la capa [W/m°C]
- hi = Coeficiente superficial de transmisión de calor interior [W/m<sup>2</sup>°C]
- he = Coeficiente superficial de transmisión de calor exterior [W/m<sup>2</sup>°C]

La tabla 2 recoge los valores de la carga térmica de transmisión (Qt) obtenidos para cada uno de los locales de la vivienda. Para su obtención se han hecho las siguientes consideraciones:

- Se ha considerado un sistema de Calefacción Normal con un Servicio Tipo II (interrupción del funcionamiento de 9 a 11 horas al día).
- Los muros exteriores de la vivienda son de piedra.
- Las áreas se han obtenido a partir de los planos de la vivienda.
- La altura entre forjados es de 2,5 m excepto en el caso del sótano, que es de 3 metros.
- La altura de la puerta es de 2,20 metros.
- La altura de las ventanas es de 1,20 metros excepto los ventanales que dan al porche, que son de 2,20 m y las ventanas de la cocina y el comedor de la planta baja, que son de 1,50 m.
- Se ha estimado una temperatura interior de confort, Ti, de 22°C atendiendo a las condiciones de diseño para climatizar un edificio de vivienda definidas en el punto IT1.1.4.1.2.a del RITE (Reglamento para Instalaciones Térmicas en Edificios): **“Para personas con actividad metabólica sedentaria de 1,2 met, con grado de vestimenta de 0,5 clot en verano y 1,0 clot en invierno y un PPD entre el 10 y el 15%, los valores de temperatura operativa y de la humedad relativa estarán comprendidos entre los límites presentados en la tabla 1.4.1.1.”** Los valores de dicha tabla se recogen en la tabla 1:

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

**Tabla 1. Temperatura operativa (RITE)**

- Se ha estimado una temperatura mínima exterior,  $T_e$ , de  $-1^{\circ}\text{C}$ .

Tal como ya se ha indicado, la carga térmica de transmisión de calor ( $Q_t$ ) en la vivienda se recoge en la tabla 2.

Cerramiento	A (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> K)	Ti-Te (K)	Qto (W)	Zis	Zo	Qt (W)
<b>PLANTA SÓTANO</b>							
<b>ASEO</b>				242,89	0,3	-0,05	303,61
Muros exteriores S	4,83	0,60	23	66,65			
Muro interior-garaje	6,00	1,20	12	86,40			
Ventana S	1,08	2,86	23	71,04			
Suelo	4,37	0,43	10	18,79			
<b>SALA ESTAR</b>				1001,06	0,3	-0,025	1276,36
Muros exteriores S	17,19	0,60	23	237,22			
Muros exteriores E	18,96	0,55	23	239,84			
Muro interior-c.caldera	7,50	0,83	12	74,68			
Muro interior-despensa	16,86	0,83	12	167,88			
Ventanas	1,68	2,86	23	110,51			
Suelo	39,75	0,43	10	170,93			
<b>GIMNASIO</b>				723,96	0,3	0,05	977,35
Muros exteriores N	15,15	0,55	23	191,65			
Muro interior-despensa	16,86	0,83	12	167,88			
Muro interior-garaje	16,86	1,20	12	242,78			
Suelo	28,29	0,43	10	121,65			
<b>PLANTA BAJA</b>							
<b>DORMITORIO 1</b>				385,11	0,3	-0,025	491,02
Muros exteriores O	5,78	0,56	23	74,45			
Muros exteriores S	10,50	0,60	23	144,90			
Ventana O	2,52	2,86	23	165,77			
<b>BAÑO 1</b>				181,66	0,3	-0,05	227,08
Muros exteriores S	9,16	0,60	23	126,41			
Ventana S	0,84	2,86	23	55,26			
<b>SALA DE ESTAR-COMEDOR</b>				2101,10	0,3	0	2731,43
Muros exteriores S	23,84	0,60	23	328,92			
Muros exteriores E	16,35	0,55	23	206,83			
Muros exteriores N	10,38	0,55	23	131,24			
Muros exteriores O	4,40	0,56	23	56,67			
Ventana S	0,84	2,86	23	55,26			
Ventana E	9,00	2,86	23	592,02			
Ventana N	4,50	2,86	23	296,01			



Ventana O	6,60	2,86	23	434,15			
VESTÍBULO+DISTRIBUIDOR				730,71	0,3	0,05	986,46
Muros exteriores N	6,86	0,55	23	86,78			
Puertas exteriores	4,62	3,20	23	340,03			
Ventanas	4,62	2,86	23	303,90			
COCINA				1171,09	0,3	0,025	1551,69
Muros exteriores N	13,73	0,55	23	173,62			
Muros exteriores E	6,38	0,55	23	80,71			
Muros exteriores O	11,73	0,56	23	151,08			
Ventana N	4,50	2,86	23	296,01			
Ventana E	4,62	2,86	23	303,90			
Ventana O	2,52	2,86	23	165,77			
PLANTA PRIMERA							
DORMITORIO 2+VESTIDOR				604,49	0,3	0,025	800,95
Muros exteriores N	8,12	0,55	23	102,72			
Muros exteriores O	15,88	0,56	23	204,47			
Ventana N	1,68	2,86	23	110,51			
Techo	21,95	0,37	23	186,79			
BAÑO 2				294,60	0,3	-0,025	375,62
Muros exteriores S	7,21	0,60	23	99,50			
Muros exteriores O	6,55	0,56	23	84,36			
Ventana S	0,84	2,86	23	55,26			
Techo	6,52	0,37	23	55,49			
DORMITORIO 3+VESTIDOR				427,20	0,3	0,05	576,72
Muros exteriores N	6,23	0,55	23	78,81			
Ventana N	2,52	2,86	23	165,77			
Techo	21,46	0,37	23	182,62			
BAÑO 3				154,31	0,3	0,05	208,32
Muros exteriores N	3,36	0,55	23	42,44			
Ventanas	0,72	2,86	23	47,36			
Techo	7,58	0,37	23	64,51			
DORMITORIO 4+VESTIDOR				701,98	0,3	0,025	930,12
Muros exteriores E	17,38	0,55	23	219,79			
Muros exteriores N	7,98	0,55	23	100,95			
Ventana N	2,52	2,86	23	165,77			
Techo	25,32	0,37	23	215,47			
BAÑO 4				343,02	0,3	-0,025	437,35
Muros exteriores S	9,84	0,60	23	135,72			
Muros exteriores E	6,55	0,55	23	82,86			
Ventana S	0,84	2,86	23	55,26			

Techo	8,13	0,37	23	69,19			
-------	------	------	----	-------	--	--	--

**Tabla 2. Carga térmica de transmisión de calor (Qt)**

### Carga térmica de ventilación (Qv)

La ventilación es la renovación del aire interior del local para mantenerlo en unas condiciones sanitarias adecuadas. Puede ser espontánea (infiltraciones a través de rendijas de puertas y ventanas) o forzada.

La carga térmica de ventilación es, por tanto, la pérdida energética derivada de acondicionar térmicamente el aire entrante de acuerdo a la temperatura interior de diseño del local. Se calcula aplicando la expresión:

$$Q_v = n \cdot V_a \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_i - T_e) \cdot 1,163 \text{ [W]}$$

Donde:

$n$  = nº de renovaciones de aire por hora [ $h^{-1}$ ]

$V_a$  = Volumen del local [ $m^3$ ]

$\rho \cdot C_p$  = 0,299 Kcal/  $m^3 \cdot ^\circ C$  (es una constante)

$T_i$  = Temperatura interior de diseño del local [ $^\circ C$ ]

$T_e$  = Temperatura de cálculo exterior [ $^\circ C$ ]

En el punto 3.1.1.a de la DB HS3 del CTE se dice “**el aire debe circular desde los locales secos (comedores, dormitorios y salas de estar) a los húmedos (aseos, cocinas y cuartos de baño)**”. Así, el aire llega a la cocina y los baños caliente por lo que estos locales no se computan para calcular la carga térmica de ventilación.

En la Tabla 2.1 del CTE del mismo documento se recogen los valores correspondientes a las renovaciones de aire por hora según el tipo de local.

La carga térmica de ventilación de la vivienda (Qv) se recoge en la tabla 3.

Local	Ocupación	Superficie (m <sup>2</sup> )	Va (m <sup>3</sup> )	Ventilación <sup>2</sup> (m <sup>3</sup> /h)	n (ren/h)	$\rho \cdot C_p$	Qv(W)
SALA DE ESTAR	6	57,17	171,51	64,8	0,38	0,299	326,7
GIMNASIO	6	28,29	84,87	64,80	0,76	0,299	326,7
DORMITORIO 1	2	17,19	42,98	36,00	0,84	0,299	181,5
SALA ESTAR-COMEDOR	6	69,50	173,75	64,80	0,37	0,299	326,7
VESTIBULO+DISTRIBUIDOR	2	14,10	35,25	35,53	1,01	0,299	179,2
DORMITORIO 2+VESTIDOR	2	21,95	54,88	36,00	0,66	0,299	181,5
DORMITORIO 3+VESTIDOR	2	21,46	53,65	36,00	0,67	0,299	181,5

<sup>2</sup> Valores obtenidos la tabla 2.1 del CTE DB HS 3

DORMITORIO 4+VESTIDOR	2	25,32	63,30	36,00	0,57	0,299	181,5
DISTRIBUIDOR	2	7,42	18,55	18,70	1,01	0,299	94,3

**Tabla 3. Carga térmica de ventilación (Qv)**

### Ganancia interna de calor (Qi)

Los locales en los que se va a instalar la calefacción suelen contar con ganancias internas gratuitas de calor. Este sumando será negativo debido su carácter de ganancia energética e incluye cualquier aportación de una magnitud representativa para el cálculo de la carga térmica del local. No obstante, su magnitud es tan poco significativa que no se tiene en cuenta para el cálculo de la vivienda.

Así pues, las **cargas térmicas resultantes de los locales (Q)**, obtenidas como la suma de las anteriores, son las que se recogen en la tabla 4.

Local	Superficie(m <sup>2</sup> )	Qt (W)	Qv (W)	Q (W)	Q (W/m <sup>2</sup> )
ASEO	4,37	303,6	0,0	303,6	69,5
SALA ESTAR	57,17	1276,4	326,7	1603,1	28,0
GIMNASIO	28,29	977,3	326,7	1304,1	46,1
DORMITORIO 1	17,19	491,0	181,5	672,5	39,1
BAÑO 1	5,68	227,1	0,0	227,1	40,0
SALA ESTAR-COMEDOR	69,5	2731,4	326,7	3058,2	44,0
VESTIBULO+DISTRIBUIDOR	14,1	986,5	179,2	1165,6	82,7
COCINA	33,52	1551,7	0,0	1551,7	46,3
DORMITORIO 2+VESTIDOR	21,95	801,0	181,5	982,5	44,8
BAÑO 2	6,52	375,6	0,0	375,6	57,6
DORMITORIO 3+VESTIDOR	21,46	576,7	181,5	758,2	35,3
BAÑO 3	7,58	208,3	0,0	208,3	27,5
DORMITORIO 4+VESTIDOR	25,32	930,1	181,5	1111,6	43,9
BAÑO 4	8,13	437,4	0,0	437,4	53,8
DISTRIBUIDOR	7,42		94,3	94,3	12,7
<b>TOTAL</b>	<b>320,78</b>			<b>13759,5</b>	<b>42,9</b>

**Tabla 4. Carga térmica de los locales (Q)**

De los valores de la tabla anterior se obtiene una potencia de calefacción de **14 kW** para la vivienda. La demanda térmica es de **43 W/m<sup>2</sup>**. A partir de los datos anteriores, el valor de los grados/día referidos a 19°C (2.160 °C/año) considerando una temperatura mínima anual de -1°C y que la temperatura interior de diseño es de 22°C (salto térmico de 23°C), se obtiene la **demanda de energía**, que es de **31 MWh/año**.

### Localización de colectores

Los colectores se sitúan en un lugar centrado respecto a la zona a instalar a la que dan servicio, a un nivel más alto que los circuitos que alimentan para así poder purgarlos, dentro de un armario. El número de colectores depende del número de circuitos de que conste la instalación. Como mínimo es necesario un colector por planta y cada uno de ellos con un máximo de 12 circuitos, por lo que en el caso de existir más circuitos emisores habría que instalar otro colector.

En la vivienda se instalarán en total 4 colectores: un colector en la planta sótano para 8 circuitos, dos colectores en la planta baja ( uno para 7 circuitos y otro para 5 circuitos) y un colector en la primera planta para 10 circuitos.

### Diseño de circuitos

A la hora de diseñar los circuitos de calefacción, se recomienda que cada local tenga uno independiente. En algunos casos un mismo local de gran superficie tendrá más de un circuito, pues para lograr una uniformidad en la transmisión de calor la tubería debe cubrir toda la superficie de los locales exceptuando suelos de armarios empotrados y el bajo de mobiliario y sanitarios en los cuartos de baño.

Previo al diseño de circuitos han de medirse las áreas que van a calefactar cada uno de los circuitos. Posteriormente debe medirse la distancia existente entre cada una de ellas y el colector. El cálculo de la longitud L de cada circuito se determina mediante la expresión:

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

Donde:

e = Distancia entre tubos [m]

A = Área a calefactar cubierta por el circuito [m<sup>2</sup>]

l = Distancia entre el colector y el área a calefactar [m]

La longitud máxima de los circuitos emisores viene determinada por la longitud máxima de los rollos de tubería. La distancia entre tubos tiene que ser la misma en todos los circuitos de la instalación y viene condicionada por la distancia entre tetones del panel aislante. No obstante es aconsejable disminuir la distancia entre tubos en las zonas de mayores pérdidas de calor en calefacción como pueden ser las ventanas.

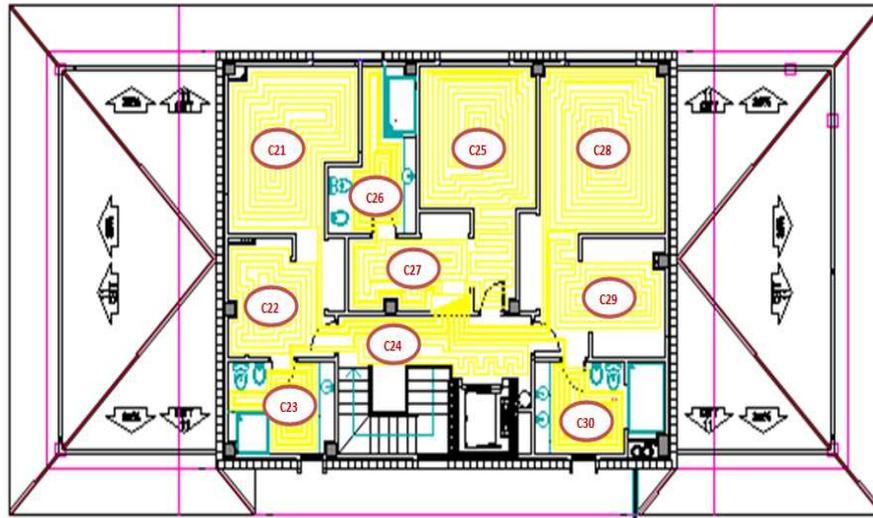
En la tabla 5 se recogen las características de los distintos circuitos, cuya nomenclatura corresponde a la representada en los planos que se adjuntan a continuación.

Local	Superficie(m <sup>2</sup> )	e (m)	l (m)	L (m)
C1	1,56	0,075	4,35	29,47
C2	11,32	0,15	4,17	83,84
C3	12,01	0,15	9,56	99,19
C4	8,96	0,15	1,97	63,63
C5	6,74	0,15	2,20	49,33
C6	7,34	0,15	3,43	55,80



C7	9,45	0,15	4,66	72,34
C8	9,81	0,15	11,88	89,14
C9	5,67	0,15	7,01	51,80
C10	9,67	0,15	8,78	82,05
C11	6,22	0,15	4,28	50,04
C12	8,10	0,15	0,62	55,22
C13	5,21	0,15	8,98	52,68
C14	9,64	0,15	15,20	94,69
C15	9,92	0,15	19,13	104,38
C16	9,68	0,15	23,93	112,42
C17	11,25	0,15	0,17	75,32
C18	2,64	0,15	7,03	31,64
C19	6,27	0,15	10,99	63,77
C20	1,97	0,075	3,68	33,67
C21	11,96	0,15	6,11	91,97
C22	5,24	0,15	4,40	43,71
C23	3,19	0,075	6,77	56,03
C24	3,37	0,15	0,66	23,80
C25	13,59	0,15	0,46	91,51
C26	3,34	0,075	5,88	56,29
C27	3,87	0,15	0,32	26,41
C28	12,74	0,15	5,23	95,38
C29	5,37	0,15	5,70	47,19
C30	3,56	0,075	4,92	57,25
<b>TOTAL</b>	216,09			1882,70

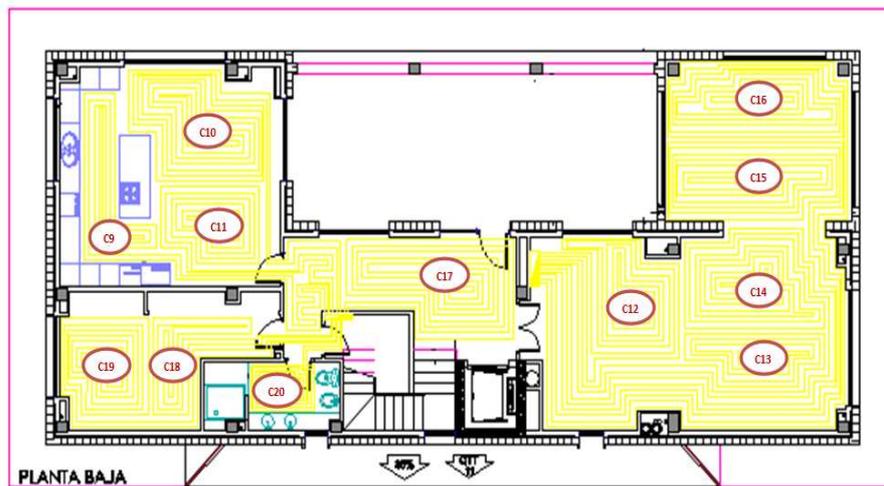
**Tabla 5. Longitud de los circuitos**



PLANTA PRIMERA

**Figura 1. Nomenclatura circuitos planta primera**

Fuente: Elaboración propia



PLANTA BAJA

**Figura 2. Nomenclatura circuitos planta baja**

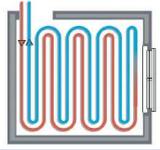
Fuente: Elaboración propia



**Figura 3. Nomenclatura circuitos planta sótano**

Fuente: Elaboración propia

Para la distribución de temperaturas homogéneas en los locales a climatizar, la mejor distribución de calor se consigue con la instalación de una espiral, aunque también es aceptable la forma tipo doble serpentin. La tabla 6 recoge las ventajas e inconvenientes de cada una de las morfologías:

SISTEMA		VENTAJAS	INCONVENIENTES
Espiral		Temperatura media igual en cualquier punto de la habitación. Distribución uniforme de calor. Grandes radios de curvatura.	
Doble serpentin		Temperaturas medias iguales en cualquier punto de la habitación. Distribución uniforme de calor.	Pequeños radios de curvatura.

**Tabla 6. Comparación de los sistemas de distribución de tuberías**

Fuente: Catálogo Floor Standard (2009)

En la instalación se empleará principalmente la primera y excepcionalmente se acudirá a la segunda en algunas pequeñas estancias como los distribuidores de las viviendas.

### Cálculo de la temperatura media superficial del pavimento

La temperatura media superficial del pavimento ( $T_{ms}$ ) es función únicamente de la demanda térmica, que a efectos de simplificación de cálculos, consideraremos igual a la carga térmica del local ( $Q$ ), y de la temperatura interior de diseño del local ( $T_i$ ) previamente definida. Se calcula de acuerdo a la expresión:  $Q[W/m^2] = \alpha \cdot (T_{ms} - T_i)$

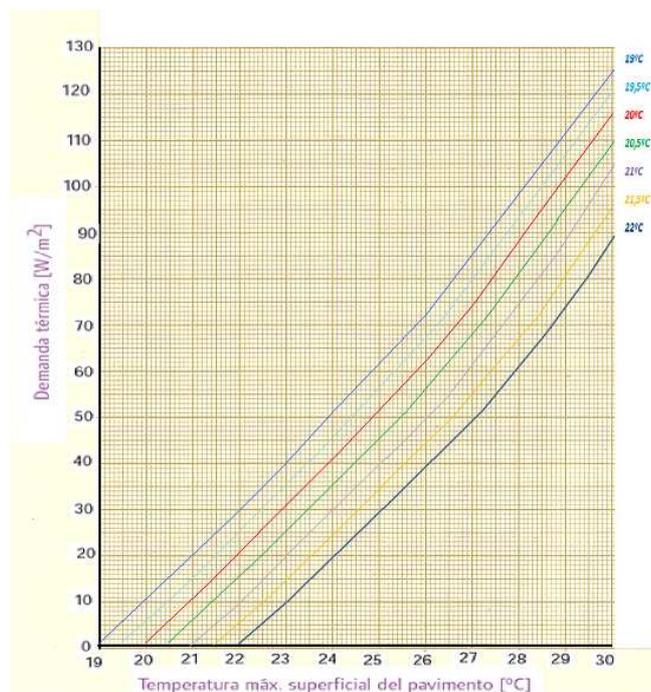
Donde:

$\alpha [W/m^2 \cdot ^\circ C]$  es el coeficiente de transmisión de calor del suelo, que depende del material.

Por motivos de confort del usuario de la instalación, la temperatura media superficial del pavimento no debe superar los  $30^\circ C$ .

Obtenemos las temperaturas máximas superficiales del pavimento ( $T_s$ ) en función de  $Q$  y de  $T_i$  mediante la figura 5.

En la tabla 7 se recogen las temperaturas obtenidas de la gráfica de la figura 5.



**Figura 4. Temperatura interior de diseño del local ( $T_i$ ) en función de la demanda térmica ( $Q$ ) y de la temperatura máxima superficial del pavimento ( $T_s$ )**

Fuente: elaboración propia a partir del catálogo de UPONOR (2009)

Local	Q (W/m <sup>2</sup> )	T <sub>i</sub> (°C)	T <sub>s</sub> (°C)
ASEO	69,5	22,0	28,7
SALA ESTAR	28,0	22,0	24,8

GIMNASIO	46,1	22,0	26,6
DORMITORIO 1	39,1	22,0	25,9
BAÑO 1	40,0	22,0	26,0
SALA ESTAR-COMEDOR	44,0	22,0	26,4
VESTIBULO+DISTRIBUIDOR	82,7	22,0	29,7
COCINA	46,3	22,0	26,6
DORMITORIO 2+VESTIDOR	44,8	22,0	26,5
BAÑO 2	57,6	22,0	27,8
DORMITORIO 3+VESTIDOR	35,3	22,0	25,5
BAÑO 3	27,5	22,0	24,7
DORMITORIO 4+VESTIDOR	43,9	22,0	26,4
BAÑO 4	53,8	22,0	27,3
DISTRIBUIDOR	12,7	22,0	23,4
<b>MEDIA</b>	<b>42,9</b>		

**Tabla 7. Temperatura media superficial del suelo**

### Cálculo de la temperatura del agua

El salto térmico entre el agua de impulsión y el de retorno se fija en 10°C.

La magnitud de la temperatura media del agua en las tuberías emisoras ( $T_{ma}$ ) depende de la demanda térmica del local ( $Q$ ), la temperatura interior de diseño ( $T_i$ ) y del coeficiente de transmisión térmica ( $K_a$ ) según la fórmula:  $Q [W/m^2] = K_a \cdot [T_{ma} - T_i]$

El coeficiente de transmisión térmica de la capa sobre tubos [ $K_a$ ] se calcula aplicando la fórmula:  $K_a [W/m^2\text{°C}] = 1 / [\Sigma(e/\lambda) + (1/\alpha)]$

Donde:

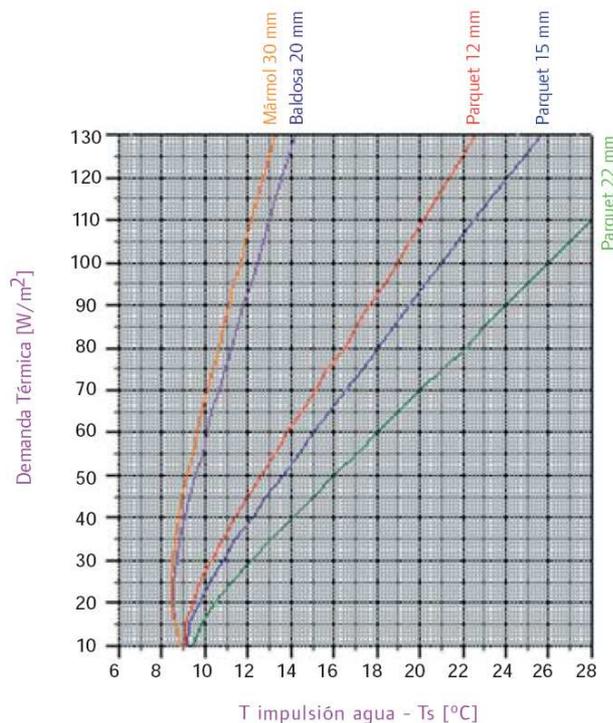
$e$  = Espesor de la capa [m]

$\lambda$  = Conductividad térmica del material de la capa [ $W/m\text{°C}$ ]

$\alpha$  = Coeficiente de transmisión de calor del suelo [ $W/m^2\text{°C}$ ]

La figura 6 muestra el gráfico que relaciona la demanda térmica ( $Q$ ), la resistencia térmica del pavimento ( $R$ ) para obtener la temperatura de impulsión del agua en el circuito correspondiente ( $T_a$ ) y la temperatura superficial máxima ( $T_s$ ).

Tras el cálculo de todas las  $T_a$  de todos los circuitos se selecciona la mayor de ellas.



**Figura 5. Gráfico de la temperatura de impulsión**

Fuente: Catálogo UPONOR (2009)

En la tabla 8 se recogen los valores obtenidos en la gráfica de la figura 16.

Local	Pavimento	Espesor (m)	$R$ ( $m^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ )	$Q$ ( $\text{W/m}^2$ )	$T_i$ ( $^\circ\text{C}$ )	$T_a - T_s$	$T_a$ ( $^\circ\text{C}$ )
ASEO	Baldosa	0,02	0,02	69,5	22,0	10,6	32,6
SALA ESTAR	Baldosa	0,02	0,02	28,0	22,0	8,5	30,5
GIMNASIO	Baldosa	0,02	0,02	46,1	22,0	9,3	31,3
DORMITORIO 1	Parquet	0,015	0,11	39,1	22,0	12	34
BAÑO 1	Parquet	0,015	0,11	40,0	22,0	12,3	34,3
SALA ESTAR-COMEDOR	Parquet	0,015	0,11	44,0	22,0	12,7	34,7
VESTIBULO+DISTRIBUIDOR	Parquet	0,015	0,11	82,7	22,0	18,2	40,2
COCINA	Parquet	0,015	0,11	46,3	22,0	12,9	34,9
DORMITORIO 2+VESTIDOR	Parquet	0,015	0,11	44,8	22,0	12,8	34,8
BAÑO 2	Parquet	0,015	0,11	57,6	22,0	14,8	36,8
DORMITORIO 3+VESTIDOR	Parquet	0,015	0,11	35,3	22,0	11,2	33,2
BAÑO 3	Parquet	0,015	0,11	27,5	22,0	10,5	32,5
DORMITORIO 4+VESTIDOR	Parquet	0,015	0,11	43,9	22,0	12,7	34,7

BAÑO 4	Parquet	0,015	0,11	53,8	22,0	14,2	36,2
DISTRIBUIDOR	Parquet	0,015	0,11	12,7	22,0	9	31

**Tabla 8. Temperatura de impulsión**

Así, la **temperatura de impulsión** será de **40,2 °C** y el **retorno** será de **30,2°C**.

### Cálculo del caudal de agua

El caudal de agua a través de un circuito de calefacción por suelo radiante es función de la potencia térmica emitida, que tomamos del mismo valor que la carga térmica (Q), y del salto térmico entre la impulsión al circuito y el retorno desde éste.

El salto térmico es una constante de valor 10°C, por lo que el caudal es únicamente función de la carga térmica según la expresión: **[Q]=m•Cp•(Timp-Tret) [kcal/h]**,

Donde:

m = Caudal de agua [kg/h]

Cp = Calor específico del agua [1 kcal/kg °C ]

Timp - Tret = Salto térmico impulsión - retorno = 10°C

En Q ha de considerarse la potencia térmica emitida por cada circuito, incluyendo la emitida en los trayectos desde el local hasta el colector, por ello se calculan las áreas reales cubiertas por cada circuito, que se recogen en la tabla 9 junto con los caudales obtenidos.

Local	Q (W/m²)	Área calefactada (m²)	Pasillo (m²)	Área real calefactada (m²)	Q(W)	Timp-Tret	Caudal (l/s)
C1	69,5	1,6	0,3156	1,9	130,16	10	0,004
C2	46,1	11,3	0,3131	11,6	536,41	10	0,015
C3	46,1	12,0	1,1514	13,2	606,72	10	0,017
C4	40,3	9,0	0,1767	9,1	368,28	10	0,010
C5	40,3	6,7	0,1729	6,9	278,79	10	0,008
C6	40,3	7,3	0,3708	7,7	311,01	10	0,009
C7	40,3	9,5	0,5573	10,0	403,77	10	0,011
C8	40,3	9,8	0,8037	10,6	427,95	10	0,012
C9	46,3	5,7	0,5217	6,2	286,42	10	0,008
C10	46,3	9,7	0,6313	10,3	477,07	10	0,013
C11	46,3	6,2	0,3268	6,6	303,24	10	0,008
C12	44,0	8,1	0,0499	8,1	358,45	10	0,010
C13	44,0	5,2	1,1181	6,3	278,32	10	0,008
C14	44,0	9,6	2,1957	11,8	521,00	10	0,014
C15	44,0	9,9	2,8406	12,8	561,40	10	0,016
C16	44,0	9,7	2,9408	12,6	555,53	10	0,015
C17	82,7	11,2	0,0054	11,3	930,32	10	0,026
C18	39,1	2,6	0,2426	2,9	112,62	10	0,003
C19	39,1	6,3	1,0373	7,3	285,83	10	0,008

C20	40,0	2,0	0,1437	2,1	84,66	10	0,002
C21	44,8	12,0	0,4546	12,4	555,75	10	0,015
C22	44,8	5,2	0,3220	5,6	248,81	10	0,007
C23	57,6	3,2	0,4735	3,7	210,86	10	0,006
C24	12,7	3,4	0,0480	3,4	43,44	10	0,001
C25	35,3	13,6	0,0290	13,6	481,14	10	0,013
C26	27,5	3,3	0,4546	3,8	104,28	10	0,003
C27	35,3	3,9	0,0633	3,9	138,86	10	0,004
C28	43,9	12,7	0,3503	13,1	574,60	10	0,016
C29	43,9	5,4	0,4443	5,8	84,66	10	0,002
C30	53,8	3,6	0,4098	4,0	213,32	10	0,006

**Tabla 9. Caudal de agua**

### 3.2. Características de materiales y equipos

**Tuberías:** Se emplean tuberías de Polietileno reticulado PE-Xb con barrera a la difusión de O<sub>2</sub><sup>3</sup> (EVOH), fabricadas por Braseli, de conformidad con las normas UNE EN ISO 15875-2 y EN 1264-4 con las características que se recogen en la tabla 10.

Diámetro (mm)	Espesor (mm)	Rollo (m)
16	1,8	120
16	1,8	200

**Tabla 10. Características de las tuberías**

**Codos guía:** Cada tubería lleva un codo guía metálico para tubería de 16 mm de diámetro.

**Colectores:** La instalación cuenta con cuatro colectores para 5, 7, 8 y 10 circuitos respectivamente. Se han elegido colectores de acero inoxidable marca KaMo de conformidad con la norma EN 1264-4 con las características siguientes:

Tipo (nº de circuitos)	Longitud (mm)	Material
HVE-EE-SKES/5	460	Acero inoxidable
HVE-EE-SKES/7	560	Acero inoxidable
HVE-EE-SKES/8	610	Acero inoxidable
HVE-EE-SKES/10	710	Acero inoxidable

**Tabla 11. Características de los colectores**

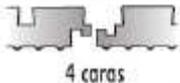
**Caja de colectores:** Los colectores anteriores se colocan dentro de armarios marca KaMo con las características que se indican en la tabla 12:

Tipo	Dimensiones (mm)
STE 510	510 x 680 x 110
STE 610	610 x 680 x 110
STE 760	760 x 680x 110

**Tabla 12. Características de los armarios para colectores**

<sup>3</sup> En las tuberías plásticas convencionales las moléculas de oxígeno del aire penetran a través de la tubería al aumentar la temperatura provocando la oxidación de las partes metálicas de la instalación al oxigenar el agua. Este tipo de tuberías mejora la vida útil de la instalación.

**Panel aislante:** Se emplean paneles de EPS (poliestireno expandido) de alta densidad de la marca Poliradiante con las características que recoge la tabla 13.

CARACTERÍSTICA TÉCNICA	MÉTODO DE ENSAYO	Valor
Conductividad térmica	UNE-EN 12667	$\leq 0,034$ W/m·K
Resistencia térmica	UNE-EN 12667	$\geq 0,55$ m <sup>2</sup> /W·K
Reacción al fuego (clase)	UNE-EN-13501-1	E
Permeabilidad al vapor de agua		Impermeable
Absorción de agua		Nula
Medidas		1,350x750x50 mm
Diámetro de tubería		16 a 20 mm
Piacas por caja		14 uds.
Machihembrado		 4 caras

**Tabla 13. Características del panel aislante**

**Film anti humedad:** Rollos de 100 m de longitud con un espesor de 0,15 mm y 2 mm de ancho.

**Cinta perimetral:** Rollos de 50 m de longitud con un espesor de 7 mm y 15 cm de altura.

**Aditivo para mortero:** Se emplea un 1-1,5% del peso del cemento, que se mezcla cuando el mortero esté amasado. Se suministra en bidones de 30 litros.

**Termostato.** La bomba de calor contará con un termostato conectado con el colector del sótano, por tanto el modelo de termostato que se describe regulará solamente los tres colectores restantes. Sus características son:

- Mecánico a 2 hilos de acción todo/nada
- Dimensiones 76x76x35mm
- Actuación mediante dilatación membrana de gas
- Escala 6 a 30°C, ruleta de regulación que puede bloquearse en un valor fijo o en un tramo de la escala, topes incluidos
- Diferencial inferior a 1°C

**Bombas de impulsión:** Es necesario una por colector ya que la instalación cuenta con un depósito de inercia. Se han elegido bombas Wilo Star-RS(D) simples con 180 mm de longitud de rotor húmedo con conexión roscada.

#### 4. DEMANDA DE ACS

La Exigencia Básica HE-4 del Código Técnico de la Edificación (CTE), aprobada mediante R.D. 314/2006, establece el requisito de una contribución solar mínima en la producción del agua caliente sanitaria (ACS). Esta contribución depende de la zona climática, del uso de la edificación y de la demanda total en ACS. En el caso de Asturias la contribución solar mínima es del 30%.

La Directiva Europea 2009/28 EC declara la geotermia como energía renovable y especifica las condiciones mínimas de rendimiento que deben verificar las bombas de calor. En la publicación realizada por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) titulada "Comentarios al RITE 2007", se establece que: **"los sistemas de paneles térmicos podrán ser sustituidos por otras técnicas de energías renovables siempre que no venga superada la producción de CO<sub>2</sub> del sistema exigido por la Administración sobre una base anual"**. Por ello, la instalación objeto de estudio cubrirá la demanda de ACS de la vivienda según lo establecido en el CTE.

Para el cálculo de la demanda de ACS se ha tomado como referencia el citado DB HE4 del CTE. En la Tabla 3.1 de dicho documento se recoge el valor correspondiente a la demanda de ACS al día según el tipo de instalación para una temperatura de acumulación de referencia de 60°C. Para viviendas unifamiliares, la demanda es de 30 litros ASC/día por persona. En el caso de esta instalación, la temperatura de acumulación será de 45°C. Para obtener la demanda correspondiente, se aplica la expresión:

$$D(T) = \sum_{i=1}^{12} D_i(T)$$

$$D_i(T) = D_i(60^\circ\text{C}) \cdot \left( \frac{60 - T_i}{T - T_i} \right)$$

Donde:

- D(T) la demanda de ACS anual a la temperatura T de acumulación
- D<sub>i</sub>(T) la demanda de ACS para el mes i a la temperatura T de acumulación
- D<sub>i</sub>(60°C) la demanda de ACS para el mes i a la temperatura de 60°C
- T la temperatura del acumulador
- T<sub>i</sub> la temperatura media del agua fría en el mes i (temperatura de red)

En la tabla 14 se presentan los datos meteorológicos considerados para el cálculo:

	Oviedo Temperatura media mensual (°C)*	ASTURIAS Temperatura media del agua de la red general (°C)**
Enero	7,5	6
Febrero	8,5	7
Marzo	9,5	9

Abril	10,3	11
Mayo	12,8	12
Junio	15,8	13
Julio	18	14
Agosto	18,3	13
Septiembre	17,4	12
Octubre	14	11
Noviembre	10,4	9
Diciembre	8,7	6
<b>MEDIA ANUAL</b>	<b>12,6</b>	<b>10,3</b>

**Tabla 14. Temperatura media mensual Oviedo / Temperatura media del agua de red Asturias**

\*Fuente: Tabla G.2- DB HE1

\*\*Fuente: CENSOLAR

En la tabla 15 se resumen las necesidades de ACS.

Mes	Personas	Días del mes	Di @ 60°C (l)	Ti (°C)	T (°C)	Di @T (l)	Cp	Q (kWh)	t (h)	Q (kW)
Enero	6	31	5580	6	45	7726	0,001162	350	7	1,614
Febrero	6	28	5040	7	45	7029	0,001162	310	7	1,584
Marzo	6	31	5580	9	45	7905	0,001162	331	7	1,524
Abril	6	30	5400	11	45	7782	0,001162	307	7	1,464
Mayo	6	31	5580	12	45	8116	0,001162	311	7	1,434
Junio	6	30	5400	13	45	7931	0,001162	295	7	1,404
Julio	6	31	5580	14	45	8280	0,001162	298	7	1,374
Agosto	6	31	5580	13	45	8196	0,001162	305	7	1,404
Septiembre	6	30	5400	12	45	7855	0,001162	301	7	1,434
Octubre	6	31	5580	11	45	8042	0,001162	318	7	1,464
Noviembre	6	30	5400	9	45	7650	0,001162	320	7	1,524
Diciembre	6	31	5580	6	45	7726	0,001162	350	7	1,614
<b>TOTAL</b>						<b>94239</b>		<b>350</b>		<b>1,6</b>
								<b>Q ACS(W/m²)</b>		<b>5</b>

**Tabla 15. Demanda de ACS**

Se obtiene una demanda de **43 litros de ACS/día por persona** de media. Las necesidades de ACS a cubrir ascienden a 2 kW.

## 5. GEOTERMIA

La instalación diseñada garantizará la producción de la demanda de ACS de la vivienda objeto de estudio, así como de las necesidades de calefacción previamente calculadas.

### 5.1. SISTEMA DE CAPTACIÓN GEOTÉRMICA

#### 5.1.1. Sondeos de pozos

La energía acumulada en el terreno puede ser extraída mediante diversos sistemas de captación. En este caso empleamos un sistema de captación vertical ya que para un sistema de captación horizontal el potencial geotérmico se estima en  $25 \text{ W/m}^2$  que corresponden a un potencial geotérmico lineal estimado en  $12 \text{ W/m}$  y las necesidades de terreno para nuestra instalación son de  $438 \text{ m}^2$ , por lo que se descarta la implantación de este sistema a favor del de captación vertical, formado por sondas verticales, cada una de ellas se compone de 2 circuitos de tuberías de PE por las que circula agua glicolada. Estos actúan como intercambiadores de calor verticales. Se estima, en base a la experiencia, un potencial geotérmico del terreno de  $60 \text{ W/m}$ .

El número de sondeos a realizar depende de la longitud total de los mismos, que se obtiene mediante la relación:

$$\frac{\text{Potencia térmica instalada} - \text{Potencia eléctrica}}{\text{Potencial geotérmico del terreno}}$$

En nuestro caso, la bomba tiene una potencia de  $14 \text{ kW}$  y la potencia eléctrica es de  $3,04 \text{ kW}$ , de manera que se obtiene una longitud total de sondeos de  $183 \text{ metros}$ . Habitualmente no se realizan sondeos a profundidades mayores de  $120 \text{ metros}$ , por lo que se opta por realizar 2 sondeos de  $91 \text{ metros}$  de profundidad. Cada pozo tiene 2 circuitos de captación de manera que la longitud total de captación asciende a  $731 \text{ metros}$ .

Respecto a su ejecución, se realiza mediante perforación a rotoperCUSión con martillo en cabeza. El relleno es arena silíceA calibrada entre  $2$  y  $4 \text{ mm}$ . Los  $10$  primeros metros siempre se entuban; el resto del sondeo sólo se entuba en caso de encontrarse durante su ejecución arcillas expansivas, acuíferos, coqueras o cuevas subterráneas. También se entuba completamente si durante la ejecución del sondeo se derrumban las paredes.

#### 5.1.2. Circuito de captación geotérmica

El circuito doble de captación geotérmica (2 circuitos independientes en cada pozo) estará compuesto por tuberías de polietileno PE-100 32x3 PN16 de  $32 \text{ mm}$  de diámetro y  $3 \text{ mm}$  de espesor con resistencia de  $16 \text{ bar}$ .

#### 5.1.3. Fluido caloportador

El fluido caloportador es el encargado de realizar el intercambio térmico con el terreno. Se utiliza una mezcla de agua con  $30\%$  de propilenglicol con una concentración del  $50\%$ , que es un fluido anticongelante no tóxico y ecológico cuya temperatura de congelación es de  $-15 \text{ }^\circ\text{C}$ . A partir del diámetro y la longitud de la tubería de captación se obtiene un

volumen de **agua** necesario de **587 litros**, de manera que de **propilenglicol** se necesitarán **176 litros**.

#### 5.1.4. Circuito hidráulico primario

En el circuito primario habrá un salto térmico de 3°C. El caudal de agua se obtiene como  $\frac{\text{Potencia geotérmica}}{\text{Calor específico del agua} \cdot \text{Salto térmico}}$ , siendo la potencia geotérmica la diferencia entre la potencia térmica de la bomba y la eléctrica. Así, por el circuito primario circulan 2,3 m<sup>3</sup>/h a una velocidad teórica de 0,5 m/s para evitar ruidos. Las tuberías de este circuito tendrán un diámetro de 40 mm y 10 metros de longitud, lo que supone 13 litros de agua, haciendo un total de 600 litros de agua en el sistema de captación.

Se prevé la instalación de un vaso de expansión que por normativa tendrá un volumen mínimo del 20% del volumen de agua del sistema, es decir, 12 litros.

Se instalará un colector PE-100 40x6.8 PN16 de 40 mm de diámetro y 6,8 mm de espesor con resistencia de 16 bar.

Ambos colectores contarán con válvulas de asiento y purgador.

### 5.2. SISTEMA DE GENERACIÓN

Aunque la tierra acumula grandes cantidades de energía, su temperatura es inferior a la temperatura del edificio a calentar, por lo que su aprovechamiento debe ser contra el “gradiente térmico”. Por ello se requiere el uso de una bomba de calor diseñada exclusivamente para el aprovechamiento de este tipo de energía.

#### 5.2.1. Circuito secundario

Las tuberías de distribución del circuito secundario serán de polietileno de alta densidad, PE-100, que resiste una presión de 16 bar y de conformidad con la norma UNE EN ISO 12241. Tendrán un diámetro de 32 mm y una longitud total de 10 metros. Irán provistas de un aislamiento térmico SH/ARMAFLEX de 25 mm de espesor.

El salto térmico en este circuito es de 8°C. Por él circula un caudal de 1,09 m<sup>3</sup>/h de agua a 0,5 m/s. De acuerdo con la norma UNE 100155, el vaso de expansión tendrá un volumen de 8 litros.

#### 5.2.2. Bomba de calor geotérmica

El sistema cuenta con una bomba geotérmica marca HAUTEC. Se trata de una bomba silenciosa, equipada de un compresor que le asegura un rendimiento alto y económico. Emplea como refrigerante R 407c.

La bomba instalada tiene una potencia calorífica de 14 kW, destina a consumo propio 3,04 kW y un COP (Potencia térmica instalada/Potencia eléctrica) de 4,6.

A partir de este valor, conocida la demanda térmica de calefacción (31 MWh/año) puede calcularse el consumo eléctrico anual (demanda de energía/COP), que es de 7 MWh, es decir, el consumo de energía térmica primaria es de 18 MWh/año siendo el aporte de energía renovable del 43,5%.

### **5.2.3. Depósito de inercia (buffer)**

Se instala un depósito de inercia para regular la temperatura. Es un depósito de acero ST 37 aislado térmicamente mediante espuma rígida de poliuretano que debe tener un volumen de acumulación de 300 litros como mínimo ( la mitad del volumen total de agua del suelo radiante, que asciende a 600 litros). El equipo seleccionado, HAUTEC modelo HWBW-K-300M.

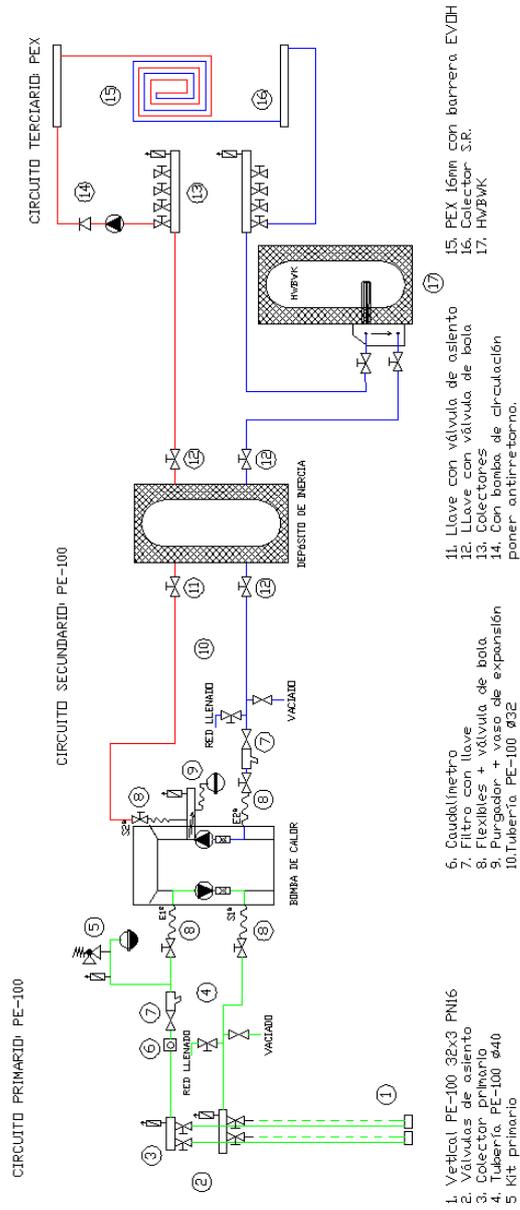
### **5.2.4. Depósito de agua caliente sanitaria**

El depósito de ACS de la instalación de la vivienda utiliza la energía del retorno de la calefacción de suelo radiante para obtener agua a la temperatura que se demande. Se trata de un depósito de ST 37-2 con un volumen de 300 litros.

## **6. ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN**

A continuación se adjunta el esquema de la instalación completa donde se recoge:

- Circuito primario de captación geotérmica
- Circuito secundario bomba de calor-ACS
- Circuito terciario (suelo radiante)



## 7. EVALUACION ECONÓMICA

La evaluación económica tiene como fin el estudio de la rentabilidad de la instalación. El dimensionado de la instalación de geotermia debe hacerse con el fin de conseguir un equilibrio entre el ahorro energético y el coste económico. No sería coherente que la inversión en la instalación fuera desproporcionada en comparación al ahorro de energía conseguido y, por tanto, no se amortizara en un periodo de tiempo razonable.

### 7.1. Presupuesto

Los precios que se reflejan en el presupuesto se han obtenido en catálogos de los diferentes proveedores. Al final del presupuesto se les aplica el IVA correspondiente.

Concepto	Características	uds	cantidad	€/ud	Coste(€)
<b>Geotermia</b>					
	Ejecución de sondeos (incluye relleno)	m	300	36	10800
	Sondas geotermia circuito doble PE-100 (e=3mm)	m	300	9	2700
	Propilen-glycol	l	300	3,6	1080
HSV06/1	Colector primario		1	613	613
HCS-PN-60	Bomba de calor geotérmica		1	6.899	6899
HSB02	Kit circuito primario		1	749	749
HHB02	Kit circuito secundario		1	665	665
HELN01	Resistencia eléctrica apoyo puntual		1	330	330
HWAS01L	Kit conexiones hidráulicas		1	129	129
HWBW-K 300 M	Depósito ACS 300l		1	2.599	2599
HBF02	Sensor ACS		1	99	99
HEQ01	Kit conexiones hidráulicas ACS con SR		1	179	179
HWPS300H	Depósito inercia (BUFFER) 300l		1	772	772
	Tubería polietileno 1º	m	10	6	60
	Tubería polietileno 2º	m	10	4	40
	Vaso de expansión 2º		1	46	46
<b>Total Geotermia</b>					<b>27.760</b>
<b>Suelo Radiante</b>					
POLIRADIANTE	Panel aislante con tetones	m <sup>2</sup>	321	9,80	3144
PE-Xb EVOH 16	Tubería PEX con barrera EVOH 16x1.8mm	m	3000	0,92	2760
	Cinta perimetral	m	300	1,12	336
	Aditivo para mortero	l	60	3,92	235
	Codos guía		60	1,82	109
HVE-EE-SKES/8	Colector acero inoxidable 8 circuitos		1	59,05	59
STE 610	Armario colector 8 circuitos		1	82,00	82
HVE-EE-SKES/7	Colector acero inoxidable 7 circuitos		1	54,69	55
STE 610	Armario colector 7 circuitos		1	82,00	82

HVE-EE-SKES/5	Colector acero inoxidable 5 circuitos		1	46,40	46
STE 510	Armario colector 5 circuitos		1	70,00	70
HVE-EE-SKES/10	Colector acero inoxidable 10 circuitos		1	68,61	69
STE 760	Armario colector 10 circuitos		1	87,00	87
	Termostato		4	18,00	72
	Film PE (sótano)	m	100	1,10	0
	Bombas circulación		4	164	656
<b>Total Suelo Radiante</b>					<b>4.172</b>
<b>Instalación</b>					
	Circuito captación		3	100	300
	Equipo sala máquinas		3	500	1500
	mm tubería 1ª		50	25	1250
	Mm tubería 2ª		32	25	800
	Bomba circulación		4	90	360
	Colector SR		4	250	1000
	Suelo radiante	m <sup>2</sup>	320,78	12	3849
<b>Transporte</b>					
	Palé desde Alemania		3	200	600
<b>Total Instalación y Transporte</b>					<b>9.659</b>
<b>TOTAL</b>					<b>41.591</b>
<b>IVA 8%</b>					<b>3327</b>
<b>TOTAL INSTALACIÓN VIVIENDA</b>					<b>44.918</b>

**Tabla 16. Presupuesto de la instalación**

## 7.2. Análisis de la rentabilidad. Recuperación de la inversión

La instalación cuenta con dos sistemas relacionados entre sí, el geotérmico y el suelo radiante. La contribución de costes de cada uno de ellos al conjunto de la instalación es la siguiente:

Distribución	€	€/m <sup>2</sup>
geotermia	30.810	96
suelo radiante	10.881,51	34

**Tabla 17. Distribución de costes en la instalación**

Cada fuente de energía tiene un coste diferente:

	€/kWh
Electricidad	0,114
Gasóleo	0,072
Biomasa (pellet)	0,057
Gas natural	0,05

**Geotermia** 0,029

**Tabla 18. Coste de las diferentes fuentes de energía**

Para determinar si la instalación es rentable, comparamos el coste de la geotermia con lo que costaría una instalación que cubriera la misma demanda de gasóleo con el 30% de ACS con placas solares:

Comparativa	€	€/m <sup>2</sup>
Geotermia	30.810	96
Gasóleo + 30% ACS placas solares	20.607	64,2

**Tabla 19. Comparativa entre instalaciones**

A partir de estos datos, podemos calcular el tiempo que se tarda en amortizar la inversión que se hace con la geotermia. Para ello hay que tener en cuenta los siguientes datos referidos a esta instalación:

	MWh/año	%
Demanda térmica	35	100%
Consumo eléctrico	7,7	22%
Aporte geotérmico	27,3	78%

**Tabla 20. Distribución de la energía**

Para calcular el tiempo de amortización, se calcula la diferencia entre ambas inversiones (coste adicional de la geotermia), se computa el ahorro acumulado y se analiza el año en que se compensa con el retorno. Para que la inversión se considere interesante, debería amortizarse en unos 5 años.

Tiempo (años)	Ahorro acumulado	Coste adicional	Retorno
0		10.203,1	-10.203,1
1	1.911	10.203,1	-8.291,8
2	3.823	10.203,1	-6.380,6
3	5.734	10.203,1	-4.469,3
4	7.645	10.203,1	-2.558,0
5	9.556	10.203,1	-646,8
6	11.468	10.203,1	1.264,5
7	13.379	10.203,1	3.175,8
8	15.290	10.203,1	5.087,0
9	17.201	10.203,1	6.998,3
10	19.113	10.203,1	8.909,6

**Tabla 21. Periodo de amortización de la inversión**

El coste adicional que supone la instalación de geotermia proyectada se amortizaría en 5 años por lo que la instalación sería rentable. Además, como se expuso anteriormente en

este mismo documento, la energía geotérmica está subvencionada por lo que el coste adicional real será menor.

Calculamos la subvención correspondiente a la instalación sabiendo que como máximo ascenderá al 30% del coste de referencia, que es de 1400 €/kW para circuitos cerrados de sondeos verticales:

Potencia térmica	14	kW
Referencia	1.400	€/kW
Coste subvencionable	19.600	€
Subvención	30,00%	%
Estimación	5.880	€

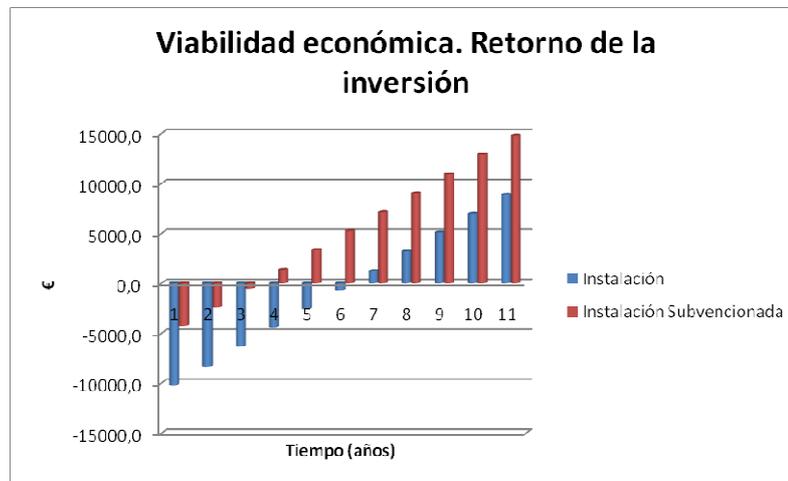
**Tabla 22. Subvención a la geotermia**

Teniendo en cuenta la subvención anterior y siguiendo el mismo procedimiento que si no estuviera subvencionada, se calcula el periodo de amortización de la misma:

Tiempo (años)	Ahorro acumulado	Coste adicional	Retorno
0		4.323,1	-4.323,1
1	1.911	4.323,1	-2.411,8
2	3.823	4.323,1	-500,6
3	5.734	4.323,1	1.410,7
4	7.645	4.323,1	3.322,0
5	9.556	4.323,1	5.233,2
6	11.468	4.323,1	7.144,5
7	13.379	4.323,1	9.055,8
8	15.290	4.323,1	10.967,0
9	17.201	4.323,1	12.878,3
10	19.113	4.323,1	14.789,6

**Tabla 23. Periodo de amortización de la inversión con subvención**

Con subvención, en 3 años se amortiza la inversión, luego concluimos que la instalación de este sistema es económicamente viable y rentable.



**Figura 6. Viabilidad económica. Retorno de la inversión**

Fuente: Elaboración propia

## 8. BALANCE DE EMISIONES

Según la fuente de energía empleada, la emisión de gases de efecto invernadero es distinta, como se recoge en la tabla 22:

	kg CO <sub>2</sub> /kWh
Electricidad	0,404
Gasóleo	0,287
Gas natural	0,204
Geotermia	0,101

**Tabla 24. Emisiones de CO<sub>2</sub> por fuentes de energía**

El uso de sistemas que aumenten la eficiencia energética, para climatización y producción de agua caliente sanitaria de edificios que combinan la bomba de calor geotérmica como generador de calor y el suelo radiante como emisor de calor, contribuye a la reducción de estas emisiones.

Partiendo de los valores recogidos en la tabla 24, se pueden calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> de la instalación para calefacción y compararlas con instalaciones homólogas de gasóleo y gas. Los resultados de estos cálculos se recogen en la tabla 25:

CALEFACCION	t CO <sub>2</sub> /año
Gasóleo	8,9
Gas natural	6,3
Geotermia	2,8

**Tabla 25. Cuadro comparativo de las emisiones de CO<sub>2</sub> - calefacción**

Análogamente, para el ACS se obtienen los siguientes resultados:

ACS	kg CO <sub>2</sub> /kWh	kg CO <sub>2</sub> /año
Gasóleo	0,287	1.157,7
Electricidad	0,404	407,4
Gasóleo+30% solar		810,4

Los resultados anteriores demuestran que el empleo del sistema propuesto reduce las emisiones de CO<sub>2</sub>. Globalmente, estas ascienden a 3,1 t/año. Para una instalación homóloga de gasóleo, serían de 10,1 t/año, es decir, se consigue una **reducción de las emisiones de 68,9%**.

## 9. CONCLUSIONES

De todo lo expuesto anteriormente podemos extraer las siguientes conclusiones:

- El calor acumulado en la superficie de la Tierra (inercia térmica) puede ser aprovechado mediante una bomba de calor durante el día o la noche, en invierno o en verano, bajo cualquier condición climatológica, para la climatización de la vivienda y la producción de agua caliente sanitaria.
- El suelo radiante es un sistema de calefacción que permite a los usuarios aprovechar la inercia térmica de la estructura del edificio (suelo, forjados, paredes, etc.) para mantener estable la temperatura en su interior y disfrutar de confort durante todo el año, limitando la influencia de las condiciones climatológicas exteriores.
- La instalación propuesta es económicamente rentable a pesar de que exige una inversión inicial superior a los sistemas tradicionales. El sobrecoste originado se amortiza en un período razonable, 3 años en el proyecto presentado, ya que se trata de una tecnología cuya instalación está parcialmente subvencionada y no origina los costes de mantenimiento ni de combustible de cualquier sistema convencional. Sin tener en cuenta la subvención, se amortiza en 5 años.
- Asimismo con la tecnología utilizada en este proyecto se consigue reducir el nivel de emisiones de CO<sub>2</sub> de la vivienda un 69 %, siendo 3,1 t/año las emitidas en el conjunto de la instalación frente a 10,1 t/año en una homóloga de gasóleo.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- *ENERGÍA GEOTÉRMICA*. Pons, Jaume y Jutglar i Bayeras, Lluís. CEAC. ISBN: 978-84-3291-061-6. Barcelona, 2004.
- *ENERGÍA GEOTÉRMICA DE BAJA TEMPERATURA*. Ed. CEYSA. Cano Pina. ISBN: 978-84-9696-005-3. Barcelona, 2008.
- *GUÍA TÉCNICA DE BOMBAS DE CALOR GEOTÉRMICAS*. Conde Lázaro, Eduardo; Ramos Millán, Alberto; Reina Peral, Pablo y Vega Remesal, Ángel. Comunidad de Madrid. ISBN: 978-84-6129-136-6. Madrid, 2009.
- *GUÍA TÉCNICA DE SONDEOS GEOTÉRMICOS SUPERFICIALES*. Llopis Trillo, Guillermo; López Gimeno, Carlos y Franqueza Palacios, Juan. Comunidad de Madrid. ISBN: 978-84-612-9142-7. Madrid, 2009.
- *GUÍA DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA*. Llopis Trillo, Guillermo y Rodrigo Angulo, Vicente. Comunidad de Madrid. Madrid, 2009.
- *LA GEOTHERMIE*. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME), Bureau de Recherche Géologique et Minière (BRGM). ISBN ADEME : 2-86817-786-7/ ISBN BRGM : 2-7159-0952-7. Francia, 2004.
- *ESTRATEGIA ENERGÉTICA PARA ESPAÑA. NUEVOS ESCENARIOS*. Revista Industria y Minería nº 382. ISSN: 1137-8042. Madrid, 2009.
- *CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN*. Ministerio de vivienda. Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo de 2006.

- *REGLAMENTO DE INSTALACIONES TÉRMICAS EN LOS EDIFICIOS (RITE) E INSTRUCCIONES TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS*. Real Decreto 1751/98, de 31 de julio de 1998.
- *PLANES DE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA 2004-08 y 2008-12*.
- *PLANES DE FOMENTO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES 2005-10 y 2011-20*.
- *MANUAL DE SUELO RADIANTE*. Saunier Duval. Madrid, 2005.
- *MANUAL TÉCNICO-SISTEMA DE CALEFACCIÓN POR SUELO RADIANTE*. UPONOR. Madrid, 2009.
- *MANUAL TÉCNICO Y DE INSTALACIÓN. SISTEMA DE CALEFACCIÓN POR SUELO RADIANTE*. Floor Standard. Barcelona, 2006.
- *ENERGÍA 2008*. Foro Nuclear.
- *MEMORIA 2008*. Carbuniión.
- *MEMORIA ANUAL 2008*. Consejo de Seguridad Nuclear (CSN).
- *EL SISTEMA ELÉCTRICO ESPAÑOL. AVANCE DEL INFORME 2009*. Red Eléctrica de España (REE).
- *BOLETÍN ESTADÍSTICO DE HIDROCARBUROS Nº 146*. Corporación de Reservas Estratégicas de Productos Petrolíferos (CORES). Madrid, enero de 2010.
- *BOLETÍN MENSUAL Nº 38*. Red Eléctrica de España (REE). Madrid, febrero 2010.
- *LA ENERGÍA GEOTÉRMICA DE BAJA TEMPERATURA EN LA EDIFICACIÓN*. TELUR geotermia y agua. Barakaldo, ETIM 19/20 de enero de 2010.
- *ANTECEDENTES Y POTENCIAL DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA*. Isaac Pola Alonso. Consejería de Industria y Empleo. Gobierno del Principado de Asturias. Jornada Técnica sobre Energía Geotérmica. Campus de Mieres, 30 de noviembre de 2009.
- *EL MERCADO DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub> EN 2009. UN CAMINO CON DIFICULTADES*. Romeo, Ismael. SENDECO2. Barcelona, 2010.
- *ESTRATEGIA ENERGÉTICA DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS CON HORIZONTE AL AÑO 2012*. Consejería de Industria y Empleo - Gobierno del Principado de Asturias. Oviedo, 2008.
- *NOVEDADES Y RETOS DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA EN ESPAÑA*. Luna González, Juan Pedro. Comunidad de Madrid. Madrid, 2010.
- *SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN THE EUROPEAN UNION. 2009 MONITORING REPORT OF THE EU SUSTAINABLE DEVELOPMENT STRATEGY*. EUROSTAT. Bélgica, 2009
- [www.georenova.com](http://www.georenova.com) GEORENOVA. [Consulta mayo 2010]
- [www.idae.es](http://www.idae.es) MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO. INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y EL AHORRO DE LA ENERGÍA, IDAE. [Consulta enero 2010]