

**“La Tierra no es una herencia
de nuestros padres, sino un
préstamo de nuestros hijos”.**

Antiguo proverbio indio

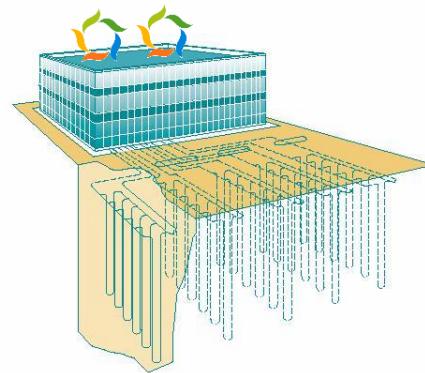


UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA
CENTRO POLITÉCNICO SUPERIOR



PROYECTO FIN DE CARRERA

ENERGÍA GEOTÉRMICA Y SOLAR APLICADAS A LA CLIMATIZACIÓN Y PRODUCCIÓN DE ACS EN UN EDIFICIO DE VIVIENDAS EN ZARAGOZA COMO SISTEMA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA



TOMO 1/3 - MEMORIA

INGENIERÍA INDUSTRIAL

Departamento de Ingeniería Mecánica
Área de Máquinas y Motores Térmicos

Autor del proyecto:

Jorge E. Bergua Díez

Director del proyecto:

D. Carlos Monné Bailo

Zaragoza, Noviembre del 2010

A Papuli,

"Ser tan iguales hace creernos tan distintos"

Gracias.

A GRADECIMIENTOS

En primer lugar, dar las gracias a Don Carlos Monné Bailo, por brindarme la oportunidad de realizar un proyecto de este estilo y mostrar en todo momento una amabilidad, comprensión y paciencia excepcionales. Siempre es de agradecer encontrar profesores con los que se puede mantener una conversación distendida y agradable.

En segundo lugar, agradecer a mi madre, Mamuli, todo el esfuerzo, paciencia y dedicación que ha tenido conmigo, tú has hecho todo posible, sin ti no estaría escribiendo estas palabras. A mi padre, Papuli, motor de este proyecto, por su inagotable ayuda, sabiduría, serenidad y entrega, y porque a pesar de mis dudas e impertinencias, siempre has creído que iba a llegar a tiempo. Creo que los dos hemos aprendido muchas cosas juntos durante este proyecto. A mi hermana, Violeta, porque es genial que estés aquí, ya sabes que *nobody said it was easy*. El tenerte en casa ha sido la mejor medicina para poder acabar este proyecto Wilson. A los tres, por apoyarme, soportarme y creer en mí, muchas gracias.

Por supuesto agradecérselo a toda mi familia, y en especial a mis yayos, porque siempre me han aportado ese aliento de ánimo y optimismo, y muy concretamente a mi yayo Jesús, agitador de mi conciencia ingenieril e interesado en todo momento por mi evolución en esta carrera que ahora llega a su fin. Mención particular merece mi primo Josete, porque su inestimable ayuda a la hora de planificarme ha sido fundamental.

Especial agradecimiento a Osca Gas, sobre todo a José Antonio Oto, perillán, por hacer mis largas horas en la oficina un poco más amenas y menos hambrientas; sin tus bromas, tus minis y tus esperas en la puerta nada habría sido igual. A mis compañeros y amigos de la Universidad, por hacer de este y otros viajes aventuras inolvidables (y los que nos quedan); a mis amigos de siempre, por permanecer a mi lado a lo largo los años; a mis amigos del Erasmus y a los del fútbol, por todos los momentos que hemos pasado y pasaremos juntos; a todos vosotros, gracias, porque aunque haya estado desaparecido en los últimos meses, se que seguís ahí. También a la Señorita Button, por su paciencia, y por los “*poquitos*” momentos que le he podido dedicar. A los ingenieros Pilar y Dani. A Pilar, por hacerme evadir un poco con sus historias de esfuerzo y superación mientras limpiaba. A Ángel el informático, por todos sus truquillos. Agradecérselo también, si procede, a esa estrella que, tanto en las tardes de domingo raras como en las normales, sigue brillando las 24 horas del día.

En definitiva, gracias a los que han contribuido a que este proyecto saliera adelante, y sobre todo, a los que siempre creyeron en mí. A todos, gracias.

Jorge E. Bergua Díez

Zaragoza, Noviembre de 2010

ENERGÍA GEOTÉRMICA Y SOLAR APLICADAS A LA CLIMATIZACIÓN Y PRODUCCIÓN DE ACS EN UN EDIFICIO DE VIVIENDAS EN ZARAGOZA COMO SISTEMA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

R E S U M E N

El presente proyecto engloba el estudio de las necesidades de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria de un edificio de 10 viviendas situado en Zaragoza, y se propone cubrirlas mediante un sistema de climatización y producción de agua caliente sanitaria (A.C.S.) con bombas de calor geotérmicas “tierra-agua” (de aquí en adelante BCG), complementado por un sistema de captadores solares para la producción de A.C.S., como alternativa eficiente a las fuentes energéticas convencionales utilizadas para este tipo de instalaciones.

Para el desarrollo del proyecto, se comienza por evaluar y mejorar los cerramientos, incluyendo su composición y aislamientos, para posteriormente calcular sus coeficientes de transmitancia térmica y las pérdidas o ganancias de calor en función de la temperatura interior y de las condiciones exteriores de proyecto. Asimismo, se analizan las necesidades de A.C.S. y se determina el consumo diario de A.C.S. para el edificio, considerando el número de personas que indica el C.T.E..

Evaluadas las necesidades de calor y frío y de A.C.S., se diseña y dimensiona el sistema de climatización, compuesto por suelo radiante/refrescante, y el sistema de producción de A.C.S., que en este caso es mixto: producción instantánea y acumulación.

Posteriormente se seleccionan las BCG y se calcula la extensión del campo de captación geotérmico, compuesto por sondas de captación cerradas en forma de U, en función de las características del terreno y los coeficientes de eficiencia energética (COP y EER). Estas sondas van dispuestas en perforaciones realizadas al efecto, definidas en el proyecto con detalle y cuyo material de relleno se ha escogido en base a lograr una buena conductividad térmica.

Para mejorar la eficiencia energética de la instalación, se diseña un sistema de energía solar térmica capaz de dar una cobertura del 63% de las necesidades de A.C.S. del edificio.

La instalación se completa con un sistema común de regulación de temperatura para climatización, que regula también la producción y acumulación de A.C.S.. Se selecciona, a su vez, un sistema de control individual de temperatura mediante termostato ambiente para cada vivienda, así como un sistema de regulación específico para la instalación de energía solar térmica.

Una vez está definida la instalación al completo, se elabora el correspondiente presupuesto con el importe total del coste de ejecución de la misma.

Seguidamente, se realiza un estudio comparativo, tanto desde el punto de vista energético como económico, del sistema geotérmico frente a otras fuentes de energía, como gas natural, gasóleo C, GLP y aerotermia, valorando los ahorros obtenidos. También se evalúa y compara la huella medioambiental de estos combustibles, en forma de emisiones de CO₂, arrojando un balance favorable para la geotermia.

Por último, se confeccionan los pertinentes planos, detallando en los mismos las características y disposición de los elementos que componen la instalación.



I N D I C E

MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. NORMATIVA APLICABLE	4
3. CARACTERÍSTICAS DEL EDIFICIO DEL PROYECTO.....	5
3.1. DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN.....	5
3.2. CUADROS DE SUPERFICIES DE LAS VIVIENDAS.....	8
3.3. REGIMEN DE UTILIZACIÓN.....	8
3.4. CAUDAL MÍNIMO DEL AIRE EXTERIOR DE VENTILACIÓN.....	8
3.5. ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA	8
3.6. CLASIFICACIÓN DE LOS ESPACIOS	10
4. TRANSMITANCIAS TÉRMICAS DE LOS CERRAMIENTOS	11
4.1. TRANSMITANCIA TÉRMICA “U” DE LOS ELTOS CONSTRUCTIVOS	11
4.2. TRANSMITANCIA TÉRMICA “U” DE LOS PUENTES TÉRMICOS	13
4.3. LIMITACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA	15
5. METODOLOGÍAS DE CÁLCULO	16
5.1. MÉTODO DE CÁLCULO PARA CLIMATIZACIÓN.....	16
5.1.1. CARGAS TÉRMICAS Y NECESIDADES ENERGÉTICAS PARA REFRIGERACIÓN.....	16
5.1.2. CARGAS TÉRMICAS Y NECESIDADES ENERGÉTICAS PARA CALEFACCIÓN.....	16
5.1.3. CÁLCULO DEL SUELO RADIANTE/REFRESCANTE.....	17
5.1.4. CÁLCULO DEL DEPÓSITO DE INERCIA	17
5.2. MÉTODO DE CÁLCULO DE A.C.S.....	17
5.3. METODO DE CÁLCULO DEL SISTEMA GEOTÉRMICO	17
5.4. METODO DE CÁLCULO DEL SISTEMA SOLAR TÉRMICO	18
5.5. METODO DE CÁLCULO DE LAS REDES DE TUBERÍAS	18
5.6. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE VASOS DE EXPANSIÓN	18
5.7. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE VÁLVULAS DE SEGURIDAD	18

6. CARGAS TÉRMICAS DEL EFICICIO	19
6.1. CARGAS TÉRMICAS Y NECESIDADES ANUALES REFRIGERACIÓN	19
6.2. CARGAS TÉRMICAS Y NECESIDADES ANUALES CALEFACCIÓN	19
7. NECESIDADES ENERGÉTICAS Y DE POTENCIA PARA LA PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA	19
8. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN Y A.C.S.....	20
8.1. CIRCUITO PRIMARIO GEOTÉRMICO	20
8.2. CIRCUITO DE CLIMATIZACIÓN	21
8.3. CIRCUITO DE AGUA CALIENTE SANITARIA	23
8.3.1. CIRCUITO PRIMARIO SOLAR.....	23
8.3.2. CIRCUITO DE DISTRIBUCIÓN DE A.C.S.....	25
9. INSTALACIÓN GEOTÉRMICA	27
9.1. CONSIDERACIONES GEOTÉRMICAS	27
9.1.1. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN GEOTÉRMICO	28
9.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UNA INSTALACIÓN CON BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA	29
9.3. BOMBAS DE CALOR GEOTÉRMICAS	31
9.4. CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO	32
9.4.1. TEST DE RESPUESTA TÉRMICA DEL TERRENO.....	33
9.5. PERFORACIONES	33
9.6. SONDAS GEOTÉRMICAS	34
9.7. RELLENO	35
9.8. FLUIDO CALOPORTADOR	36
9.9. INFLUENCIA TÉRMICA ENTRE SONDAS.....	38
9.10. CIRCUITO HIDRÁULICO	38
9.10.1. Tuberías	38
9.10.2. Pérdidas de carga de la instalación	39
9.10.3. Bombas de circulación	40
9.10.4. Válvulas.....	40
9.10.5. Vasos de expansión	40
9.10.6. Sistemas de llenado	41
9.11. AISLAMIENTOS	41
10. INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA	42
10.1. CONSIDERACIONES SOBRE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA.....	42
10.1.1. SELECCIÓN DEL TIPO DE INSTALACIÓN SOLAR	42

10.1.2. SELECCIÓN DEL TIPO DE CIRCULACIÓN DEL FLUIDO CALOPORTADOR.....	42
10.2. PRINCIPIO DE FTO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA.....	43
10.3. CAPTADORES	44
10.4. FLUIDO CALOPORTADOR.....	45
10.5. SISTEMA DE ACUMULACIÓN SOLARINTERACUMULADOR	46
10.6. CIRCUITO HIDRÁULICO	46
10.6.1. Tuberías	46
10.6.2. Pérdidas de carga de la instalación	47
10.6.3. Bomba de circulación	47
10.6.4. Válvulas.....	47
10.6.5. Vaso de expansión.....	48
10.6.6. Sistema de llenado.....	48
10.7. AISLAMIENTOS	48
10.8. ENERGÍA AUXILIAR	48
 11. INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN.....	49
11.1. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN	49
11.1.1. AHORRO DE ENERGÍA	49
11.1.2. EFICIENCIA DEL INTERCAMBIO DE CALOR.....	50
11.1.3. GARANTÍA DE CONFORT	50
11.1.4. EMISIÓN Y ABSORCIÓN TÉRMICA UNIFORME.....	50
11.1.5. INCONVENIENTES	51
11.2. PRINCIPIO DE FTO DEL SUELO RADIANTE/REFRESCANTE	51
11.3. SUELO RADIANTE/REFRESCANTE	52
11.3.1. LOCALIZACIÓN DE LOS COLECTORES	52
11.3.2. LONGITUD, TRAZADO Y SEPARACIÓN DE LOS CIRC DE SUELO RADIANTE	53
11.3.3. TEMPERATURAS DE DISEÑO	53
11.4. FANCOILS	54
11.5. DEPÓSITO DE INERCIA.....	54
11.6. CAUDAL DE AGUA DE CLIMATIZACIÓN	54
11.7. CIRCUITO HIDRÁULICO	55
11.7.1. Tuberías	55
11.7.2. Pérdidas de carga de la instalación	55
11.7.3. Bomba de circulación	56
11.7.4. Válvulas.....	56
11.7.5. Vaso de expansión.....	56
11.8. AISLAMIENTOS	57

12. INSTALACIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA	58
12.1. CONSIDERACIONES SOBRE AGUA CALIENTE SANITARIA	58
12.2. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE PREPARACIÓN DE A.C.S.....	58
12.3. PRINCIPIO DE FTO DEL SISTEMA DE PREPARACIÓN DE A.C.S.	59
12.4. DEPÓSITO DE ACUMULACIÓN AUXILIAR	60
12.5. CIRCUITO HIDRÁULICO	60
12.5.1. Tuberías	60
12.5.2. Pérdidas de carga de la instalación	60
12.5.3. Bomba de circulación	61
12.5.4. Válvulas.....	61
12.5.5. Vaso de expansión.....	61
12.6. AISLAMIENTOS	62
13. SISTEMA DE REGULACIÓN Y CONTROL	63
13.1. SISTEMA DE REGULACIÓN Y CONTROL DEL SISTEMA SOLAR	63
13.2. SISTEMA DE REGULACIÓN Y CONTROL DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN Y A.C.S.....	64
13.2.1. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE REGULACIÓN DE CLIMATIZACIÓN	65
13.2.2. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE REGULACIÓN DE A.C.S.	66
13.2.3. REGULACIÓN DE TEMPERATURA EN LAS VIVIENDAS	66
14. DILATACIONES	68
15. SALA DE MÁQUINAS.....	69
16. SISTEMAS EMPLEADOS PARA EL AHORRO DE ENERGÍA.....	70
CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO	71
17. ENERGÍA UTILIZADA POR LOS EQUIPOS DE LAS INSTALACIONES	72
17.1. FUENTES DE ENERGÍA UTILIZADAS.....	72
17.2. DEMANDA ENERGÉTICA ANUAL DEL EDIFICIO	72
17.3. POTENCIA ELÉCTRICA CONSUMIDA POR LOS EQUIPOS	73
17.4. CONSUMO ANUAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA	74
18. ESTUDIO COMPARATIVO DE AHORRO FRENTE A OTRAS FUENTES ENERGÉTICAS	75
18.1. ESTUDIO COMPARATIVO ENERGÉTICO Y ECONÓMICO ENTRE LAS DISTINTAS FUENTES DE ENERGÍA	75



18.2. EMISIONES DE CO₂ DE LAS FUENTES DE ENERGÍA COMPARADAS	77
19. CONCLUSIONES.....	78
20. BIBLIOGRAFÍA.....	81
21. SOFTWARE UTILIZADO	85

ANEXOS

ANEXO 1

1. CUADROS DE SUPERFICIES DE LAS VIVIENDAS	2
2. CAUDAL MÍNIMO DEL AIRE EXTERIOR DE VENTILACIÓN.....	6

ANEXO 2

1. DEFINICIÓN DE ENVOLVENTE TÉRMICA.....	2
2. CÁLCULO DE LA TRANSMITANCIA TÉRMICA “U” DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS ORIGINALMENTE PREVISTOS POR EL PROYECTO DE EJECUCIÓN DEL ARQUITECTO.....	4
3. DESCRIPCIÓN DETALLADA Y CÁLCULO DE LA TRANSMITANCIA TÉRMICA “U” DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DEL EDIFICIO MODIFICADOS Y MEJORADOS	12
3.1. SISTEMA ENVOLVENTE	12
3.2. SISTEMA DE COMPARTIMENTACIÓN	20
3.3. MATERIALES	27
4. DEFINICIÓN Y DETALLES DEL CÁLCULO DE PUENTES TÉRMICOS	30
4.1. DEFINICIÓN DE PUENTE TÉRMICO.....	30
4.2. CÁLCULO DE PUENTES TÉRMICOS CON EL PROGRAMA CYPE.....	31
4.3. CÁLCULO DE PUENTES TÉRMICOS CON EL PROGRAMA THERM	33
4.4. TABLAS RESUMEN DE LOS COEFICIENTES DE TRANSMITANCIA TÉRMICA DE LOS PUENTES TÉRMICOS CALCULADOS	37
5. FICHAS JUSTIFICATIVAS DE CUMPLIMIENTO DE LA EXIGENCIA BÁSICA HE 1- LIMITACIÓN DE DEMANDA ENERGÉTICA	38



5.1. Ficha 1: Cálculo de los parámetros característicos medios	38
5.2. Ficha 2: Conformidad. Demanda energética	41
5.3. Ficha 3: Conformidad. Condensaciones	42
6. INFORME DE LA EXPORTACIÓN AL PROGRAMA LIDER (LIMITACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA)	43

ANEXO 3

1. CONDICIONES DE CÁLCULO.....	2
1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	2
1.2. CONDICIONES DE CÁLCULO PARA CLIMATIZACIÓN	2
1.3. CONDICIONES DE CÁLCULO PARA AGUA CALIENTE SANITARIA	4
1.4. CONDICIONES DE CÁLCULO PARA ENERGÍA GEOTÉRMICA	4
1.5. CONDICIONES DE CÁLCULO PARA ENERGÍA SOLAR.....	5

ANEXO 4

1. CÁLCULO DE LAS CARGAS TÉRMICAS DE REFRIGERACIÓN	2
1.1. INTRODUCCIÓN A LAS CARGAS TÉRMICAS DE REFRIGERACIÓN	2
1.2. CONDICIONES DE CÁLCULO PARA VERANO.....	7
1.3. CÁLCULO DE LAS CARGAS TÉRMICAS DE REFRIGERACIÓN.....	8
1.4. CÁLCULO DE NECESIDADES ENERGÉTICAS DE REFRIGERACIÓN	86
2. CÁLCULO DE LAS CARGAS TÉRMICAS DE CALEFACCIÓN.....	88
2.1. INTRODUCCIÓN A LAS CARGAS TÉRMICAS DE CALEFACCIÓN	88
2.2. CONDICIONES DE CÁLCULO PARA INVIERNO.....	90
2.3. CÁLCULO DE LAS CARGAS TÉRMICAS DE CALEFACCIÓN	91
2.4. CÁLCULO DE NECESIDADES ENERGÉTICAS DE CALEFACCIÓN	170

ANEXO 5

1. CÁLCULO DE NECESIDADES DE AGUA CALIENTE SANITARIA	2
1.1. CONDICIONES DE CÁLCULO PARA AGUA CALIENTE SANITARIA	2
1.2. DEMANDA ENERGÉTICA DE AGUA CALIENTE SANITARIA	3
1.3. CAUDAL MÁXIMO SIMULTÁNEO DE AGUA CALIENTE SANITARIA	4
1.4. POTENCIA NECESARIA PARA LA PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA. VOLUMEN DE ACUMULACIÓN	6



ANEXO 6

1. INSTALACIÓN GEOTÉRMICA	2
1.1. CÁLCULO DE LAS BOMBAS DE CALOR GEOTÉRMICAS	2
1.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS GEOTÉRMICAS.....	3
1.3. CÁLCULO DE LA POTENCIA DE CAPTACIÓN	4
1.4. TEST DE RESPUESTA TÉRMICA DEL TERRENO.....	4
1.5. CÁLCULO DE LA LONGITUD DE LAS SONDAS DE CAPTACIÓN	7
1.6. PÉRDIDA DE CARGA-CIRCUITO PRIMARIO GEOTÉRMICO.....	10
1.7. EQUIPOS DE BOMBEO-PRIMARIO GEOTÉRMICO	15
1.8. VASOS DE EXPANSIÓN-PRIMARIO BCG	18
1.9. VÁLVULAS DE SEGURIDAD.....	21
1.10. CIRCUITOS DE ALIMENTACIÓN, VACIADO Y PURGA.....	22
1.11. PURGADORES	23
1.12. LIMITADORES DE CAUDAL. K-FLOWS	24

ANEXO 7

1. INSTALACIÓN DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA	2
1.1. UBICACIÓN DEL EDIFICIO	2
1.2. CONDICIONES DE CÁLCULO	2
1.3. DETERMINACIÓN DE LA RADIACIÓN	4
1.4. DIMENSIONAMIENTO DE LA SUPERFICIE DE CAPTACIÓN	5
1.5. CÁLCULO DE LA COBERTURA SOLAR	5
1.6. ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN SOLAR	6
1.7. PÉRDIDA DE CARGA-CIRCUITO PRIMARIO SOLAR	8
1.8. EQUIPO DE BOMBEO-PRIMARIO SOLAR	10
1.9. VASOS DE EXPANSIÓN	13
1.10. VÁLVULAS DE SEGURIDAD	16
1.11. CIRCUITOS DE ALIMENTACIÓN, VACIADO Y PURGA.....	17
1.12. PURGADORES	18

ANEXO 8

1. INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN	2
1.1. CARGA TÉRMICA DE LOS RECINTOS.....	2
1.2. LOCALIZACIÓN DE LOS COLECTORES	5



1.3. DISEÑO DE CIRCUITOS. CÁLCULO DE LONGITUDES.....	7
1.4. TEMPERATURA DE IMPULSIÓN Y DE RETORNO DEL AGUA DE CLIMATIZACIÓN	9
1.5. CAUDAL DE AGUA DE LOS CIRCUITOS.....	14
1.6. PÉRDIDA DE CARGA-CIRCUITO SECUNDARIO DE CLIMATIZACIÓN	16
1.7. CÁLCULO DEL DEPÓSITO DE INERCIA.....	32
1.8. EQUIPOS DE BOMBEO-SECUNDARIO CLIMATIZACIÓN.....	33
1.9. VASO DE EXPANSIÓN	41
1.10. VÁLVULAS DE SEGURIDAD.....	45
1.11. CIRCUITOS DE ALIMENTACIÓN, VACIADO Y PURGA.....	46
1.12. PURGADORES	47

ANEXO 9

1. INSTALACIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA.....	2
1.1. TRAMOS DE TUBERÍAS DE IMPULSIÓN DEL A.C.S.....	2
1.2. TUBERÍAS DE RETORNO DE A.C.S.....	5
1.3. EQUIPOS DE BOMBEO-SECUNDARIO A.C.S.....	6
1.4. VASOS DE EXPANSIÓN.....	11
1.5. CIRCUITOS DE ALIMENTACIÓN, VACIADO Y PURGA.....	14

ANEXO 10

1. AISLAMIENTOS.....	2
1.1. AISLAMIENTO TUBERÍAS DE GEOTERMIA, CLIMATIZACIÓN Y A.C.S.	2
1.2. AISLAMIENTO DE TUBERÍAS DEL CIRCUITO PRIMARIO SOLAR	3

ANEXO 11

1. CONSUMO ANUAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA	2
--	----------

ANEXO 12

1. ESTUDIO COMPARATIVO DE AHORRO FRENTE A OTRAS FUENTES ENERGÉTICAS	2
1.1. ESTUDIO COMPARATIVO ENERGÉTICO Y ECONÓMICO ENTRE LAS DISTINTAS FUENTES DE ENERGÍA	2
1.2. EMISIONES DE CO₂ DE LAS FUENTES DE ENERGÍA COMPARADAS	10



MEDICIONES Y PRESUPUESTO

CAPÍTULO 1. INSTALACIÓN GEOTÉRMICA	2
CAPÍTULO 2. INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA.....	7
CAPÍTULO 3. INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN	10
CAPÍTULO 4. INSTALACIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA.....	25
PRESUPUESTO	33



PLANOS

PLANO A-01: ESQUEMA HIDRÁULICO DE FTO CLIMATIZACIÓN

PLANO A-02: VISTA PLANTA INST. GEOTERMIA-GARAJES

PLANO A-03: VISTA PLANTA INST. CLIMATIZACIÓN-GARAJES

PLANO A-04: VISTA PLANTA INST. CLIMATIZACIÓN-PLANTA BAJA

PLANO A-05: VISTA PLANTA INST. CLIMATIZACIÓN-PLANTA 1^a

PLANO A-06: VISTA PLANTA INST. CLIMATIZACIÓN-PLANTA 2^a

PLANO B-01: ESQUEMA HIDRÁULICO DE FTO A.C.S.

PLANO B-02: VISTA PLANTA INST. SOLAR TÉRMICA-CUBIERTAS

PLANO B-03: VISTA PLANTA INST. AGUA SANITARIA-GARAJES

PLANO B-04: VISTA PLANTA INST. AGUA SANITARIA-PLANTA BAJA

PLANO B-05: VISTA PLANTA INST. AGUA SANITARIA-PLANTA 1^a

PLANO B-06: VISTA PLANTA INST. AGUA SANITARIA-PLANTA 2^a

PLANO B-07: ESQUEMA INST. GENERAL DE AGUA SANITARIA

PLANO B-08: ESQUEMA INST. INTERIOR DE AGUA SANITARIA

MEMORIA



1. INTRODUCCIÓN

La limitación de los recursos energéticos por un lado, y la necesidad de preservar el medio ambiente por otro, obligan a plantear soluciones alternativas que posibiliten reducir la utilización de combustibles de origen fósil y mejoren la eficiencia energética de los sistemas.

Tomando como referencia estos parámetros, se proyecta climatizar un edificio de 10 viviendas, situado en Zaragoza, utilizando para ello dos bombas de calor geotérmicas con sondas de captación cerradas que irá complementada por una instalación de paneles solares para la producción de agua caliente sanitaria (A.C.S.).

El objetivo principal del presente proyecto es diseñar las instalaciones que, con las consideraciones anteriormente expuestas, garanticen el confort adecuado a los usuarios del edificio con el mínimo coste energético e impacto medioambiental, siempre trabajando dentro del marco de la eficiencia energética.

Directamente relacionado con este propósito, y previo análisis del proyecto de ejecución, se enmarca el objetivo de mejorar la calificación energética del edificio mediante la modificación de la calidad de los aislamientos que incorporaban los cerramientos originalmente previstos, dado que la eficiencia energética del conjunto dependerá también del tipo de aislamiento utilizado.

Con estas pautas, se ha adoptado una metodología de trabajo encaminada a la consecución de los objetivos previamente definidos. Así, en el desarrollo del proyecto se han seguido las secuencias descritas a continuación:

- Análisis de la composición de los cerramientos detallados en el proyecto de ejecución del edificio y mejora del aislamiento de los mismos
- Evaluación de las necesidades energéticas para calefacción y refrigeración de todos los espacios y recintos de las viviendas
- Estudio de la demanda de A.C.S. para las viviendas
- Diseño del sistema de calefacción y refrigeración de las viviendas
- Diseño del sistema de producción, acumulación y distribución de A.C.S.
- Dimensionado y selección de las bombas de calor geotérmicas
- Diseño del sistema de captación geotérmico
- Diseño de la instalación de energía solar térmica



- Diseño de los sistemas de control y regulación de temperatura individual y colectivo en el sistema de climatización, así como el sistema de control y regulación de temperatura en el sistema de A.C.S.
- Obtención de la calificación energética del edificio
- Valoración económica de las instalaciones a realizar
- Estudio energético comparativo del sistema seleccionado frente al resto de energías disponibles
- Estudio económico comparativo del sistema seleccionado frente al resto de energías disponibles
- Estudio de emisiones de CO₂ comparativo del sistema seleccionado frente al resto de energías disponibles

A lo largo de todas estas secuencias, se utilizan diferentes métodos, técnicas y herramientas de software que han permitido el desarrollo de las mismas.

Para cumplir el objetivo anteriormente definido, se recogerán en esta *MEMORIA* y en los restantes documentos del proyecto el diseño de la instalación, las condiciones de cálculo, los cálculos justificativos necesarios, los materiales empleados y todas las medidas adoptadas para obtener un rendimiento óptimo de la instalación, cumpliendo con la *Reglamentación Vigente*.



2. NORMATIVA APLICABLE

- *Código Técnico de la Edificación (C.T.E.)*
- *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (R.I.T.E.)*
- *Pliego de Condiciones Técnicas de Baja Temperatura para Instalaciones de Energía Solar Térmica*, publicado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
- *Guía Técnica para agua caliente sanitaria central*, publicado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
- *Normas UNE* que son de aplicación al proyecto
- *Reglamento electrotécnico para Baja Tensión*
- *Reglamento de Aparatos a Presión*

3. CARACTERÍSTICAS DEL EDIFICIO DEL PROYECTO

3.1. DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN

La parcela en la que se desarrolla el presente proyecto se sitúa en una calle del casco antiguo de Zaragoza. La superficie de la parcela es de 586,92 m². El edificio proyectado presenta una altura máxima sobre rasante de 13,4 m. Dispone de una planta bajo rasante o sótano, *Planta Garajes*, y cuatro plantas sobre rasante: *Planta Baja*, *Planta 1^a*, *Planta 2^a* y *Planta Trasteros*. En el edificio se proyectan un total de 10 viviendas, que son las afectadas por las instalaciones que en este proyecto se diseñan, dimensionan y calculan. Asimismo, dispone de garajes, trasteros y local comercial.



Ilustración 1 – Vista de las alturas del edificio



Ilustración 2 - Recreación tridimensional del edificio obtenida con el programa CYPE

El desarrollo de cada una de las plantas se incluye a continuación.

PLANTA GARAJES (SÓTANO)

Se accede a esta planta con vehículos mediante la rampa y, peatonalmente, mediante la escalera y ascensor situados en el zaguán, que desembarcan en un vestíbulo de independencia y de acceso al ascensor. El total de plazas de aparcamiento es de 15. En esta planta se encuentra la Sala de Máquinas. Una vista de esta planta puede encontrarse en el apartado de *PLANOS*.

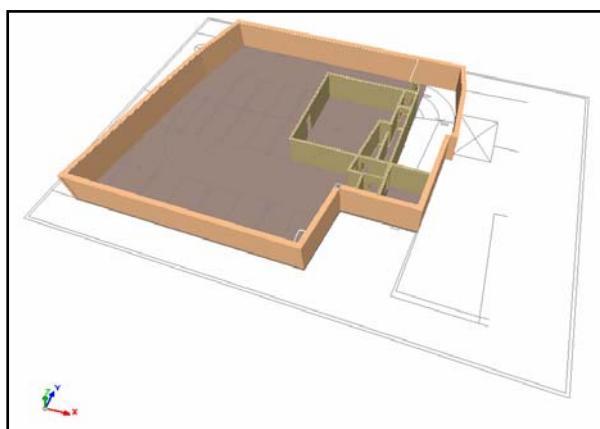


Ilustración 3 – Recreación 3D de la Planta Garajes obtenida con el programa CYPE

PLANTA BAJA

Desarrolla la meseta de la rampa de acceso y salida del aparcamiento del sótano, el zaguán de acceso a la escalera y el ascensor de las viviendas y del sótano. En el interior este zaguán se han ubicado el cuarto de contadores de agua y el cuarto de telecomunicaciones. El resto de la planta baja queda destinada a local comercial. Un plano que recoge todo lo descrito en este párrafo puede encontrarse en el apartado de *PLANOS*.

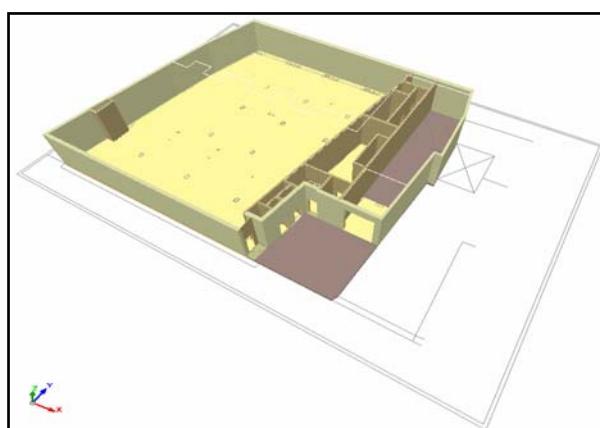


Ilustración 4 – Recreación 3D de la Planta Baja obtenida con el programa CYPE

PLANTAS 1^a y 2^a

Cada planta se distribuye en cinco viviendas, rotuladas como A, B, C, D y E. Todas ellas desarrollan la disposición de Sala de estar-Comedor-Cocina, dos dormitorios y baño; excepto las viviendas tipo A y B, que disponen de 3 dormitorios. Los planos de estas dos plantas pueden encontrarse en el apartado de *PLANOS*.

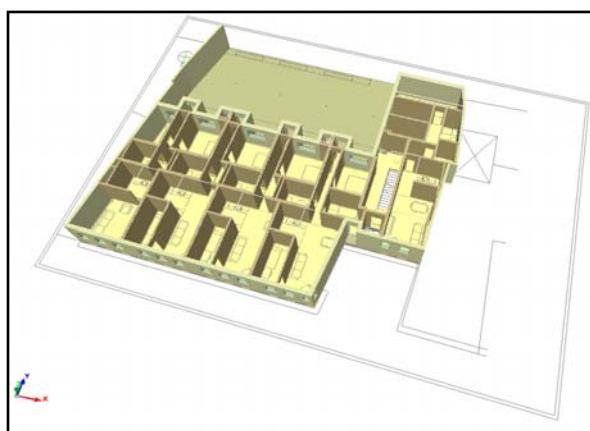


Ilustración 5 – Recreación 3D de la Planta 1^a obtenida con el Programa CYPE

PLANTA TRASTEROS

En Planta 3^a se han distribuido los trasteros. El cerramiento de la Planta Trasteros es del tipo cubierta inclinada. El plano de esta planta, así como el de la cubierta, pueden encontrarse en el apartado de *PLANOS*.



Ilustración 6 - Recreación 3D de la Planta Trasteros obtenida con el Programa CYPE



3.2. CUADROS DE SUPERFICIES DE LAS VIVIENDAS

Las tablas de la distribución de cada una de las viviendas del edificio y la superficie de cada uno de los recintos o dependencias en los que se divide cada vivienda se encuentran en el *ANEXO 1*. Para una mejor comprensión de la disposición y distribución de cada vivienda, ver el apartado de *PLANOS*.

3.3. REGIMEN DE UTILIZACIÓN

El edificio del presente proyecto es un edificio de viviendas de residencia habitual, con lo que el régimen de uso previsto es de tipo **continuo**, con calefacción en invierno, refrigeración en verano y A.C.S. durante todo el año (tanto en invierno como en verano).

3.4. CAUDAL MÍNIMO DEL AIRE EXTERIOR DE VENTILACIÓN

El caudal mínimo del aire exterior de ventilación se calcula teniendo en cuenta las exigencias de bienestar e higiene correspondientes a la *Instrucción Técnica IT 1.1 del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios [1]*, tomando los valores recogidos en el apartado 2 del *documento básico HS-3* del *Código Técnico de la Edificación*, correspondiente a calidad del aire interior.

Para el mantenimiento de una calidad aceptable del aire en los recintos ocupados, se considera un mínimo de 1 renovación a la hora por recinto.

El cálculo del caudal mínimo del aire exterior de ventilación se detalla en el *ANEXO 1*, resultando un caudal mínimo del aire exterior de ventilación de **3.344,4 m³/h**.

3.5. ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA

El *Real Decreto 314/2006 del 17 de marzo de 2006*, mediante el cual se aprobó el *Código Técnico de la Edificación (CTE) [2]*, entró en vigor el 29 de marzo de 2006, fecha a partir de la cual todas las obras de edificación de nueva construcción, incluido en consecuencia el edificio objeto del presente proyecto, deben cumplir con la *Exigencia Básica HE-1: Limitación de demanda energética* que este código recoge.

En esta exigencia se estipula que todos los edificios han de disponer de una envolvente de características tales que limite adecuadamente la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico, en función del clima de la localidad en la que se ubica y de la carga interna en sus espacios.

Para la limitación de la demanda energética, el *Código Técnico de la Edificación* establece 12 zonas climáticas identificadas mediante una letra (A, B, C, D, E), correspondiente a la división de invierno, y un número, correspondiente a la división de verano.

A efectos del cumplimiento del *Código Técnico de la Edificación*, el edificio del proyecto se encuentra situado en la siguiente zona climática:

- Capital de provincia: **Zaragoza**
 - **Zona climática D3**, según la tabla D.1 del apéndice D del Código Técnico de la Edificación
 - Población: **Zaragoza**

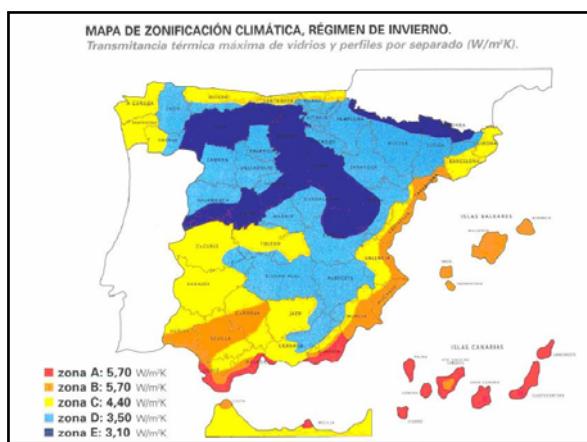


Ilustración 7 – Zonificación climática para invierno

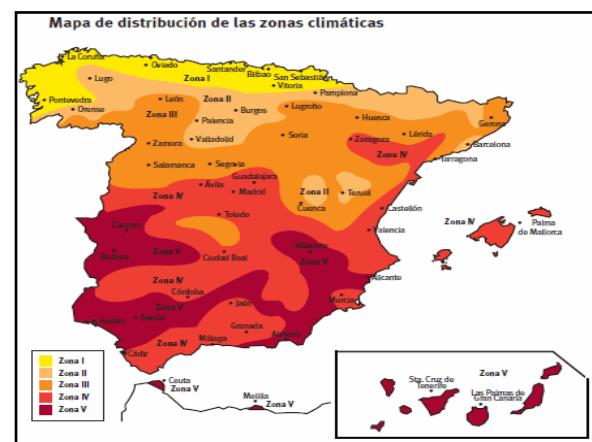


Ilustración 8 – Zonificación climática para verano

Para la zonificación climática en la que se encuentra el edificio, el *Código Técnico de la Edificación* obliga a cumplir para los cerramientos que componen la envolvente térmica del edificio, los límites de transmitancia y factor solar que recoge la tabla que aparece a continuación:

ZONA CLIMÁTICA D3							
Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno				U_{Mlim} : 0,66 W/m ² K			
Transmitancia límite de suelos				U_{Slim} : 0,49 W/m ² K			
Transmitancia límite de cubiertas				U_{Clim} : 0,38 W/m ² K			
Factor solar modificado límite de lucernarios				F_{Llim} : 0,28			
Transmitancia límite de huecos ⁽¹⁾ U_{Hlim} W/m ² K				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}			
% de huecos		N	E/O	S	SE/SO	Baja carga interna	Alta carga interna
de 0 a 10		3,5	3,5	3,5	3,5	-	-
de 11 a 20		3,0 (3,5)	3,5	3,5	3,5	-	-
de 21 a 30		2,5 (2,9)	2,9 (3,3)	3,5	3,5	-	-
de 31 a 40		2,2 (2,5)	2,6 (2,9)	3,4 (3,5)	3,4 (3,5)	-	-
de 41 a 50		2,1 (2,2)	2,5 (2,6)	3,2 (3,4)	3,2 (3,4)	0,50	0,53
de 51 a 60		1,9 (2,1)	2,3 (2,4)	3,0 (3,1)	3,0 (3,1)	0,42	0,61
						0,46	0,30
						0,46	0,43
						0,32	0,32

Tabla 1 – Valores límite de los parámetros característicos medios para la Zona Climática D3



Además, en esta zona climática, el *Código Técnico de la Edificación* señala, para los cerramientos y particiones interiores del edificio del proyecto, un valor de transmitancia no superior a los valores “límite” indicados en la tabla que se muestra a continuación:

Cerramientos y particiones interiores	Zona D (W/m ² K)
Muros de fachada, particiones interiores en contacto con espacios no habitables, primer metro del perímetro de suelo apoyos sobre terreno y primer metro de muros en contacto con el terreno	0,86
Suelos	0,64
Cubiertas	0,49
Vidrios y marcos	3,50
Medianerías	1,00
Particiones de interiores de viviendas con zonas comunes del edificio no calefactadas	1,20

Tabla 2 – Transmitancia térmica máxima de cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica

3.6. CLASIFICACIÓN DE LOS ESPACIOS

Los espacios interiores de los edificios se clasifican en espacios habitables y espacios no habitables. A su vez, el *Código Técnico de la Edificación* clasifica los espacios habitables en dos tipos: de alta carga interna y de baja carga interna, en función de la cantidad de calor disipada en su interior, debido a la actividad realizada y al periodo de utilización de cada espacio. Además, para la comprobación de la limitación de condensaciones en los cerramientos, el *Código Técnico de la Edificación* efectúa de nuevo otra clasificación, dividiendo los espacios habitables en tres subclases: de higrometría 5, de higrometría 4 y de higrometría 3 o inferior; dependiendo de la producción de humedad del espacio.

En el caso del presente proyecto, el edificio está destinado a albergar viviendas de uso residencial, por lo que los espacios habitables del edificio se clasifican dentro de la categoría de:

- **Espacios con baja carga interna:** espacios en los que se disipa poco calor, destinados principalmente a residir en ellos, con carácter eventual o permanente.
- **Espacios de clase de higrometría 3 o inferior:** espacios en los que no se prevea una alta producción de humedad. Se incluyen en esta categoría todos los espacios de edificios residenciales y el resto de los espacios no indicados anteriormente.



4. TRANSMITANCIAS TÉRMICAS DE LOS CERRAMIENTOS

Una vez clasificado el edificio objeto del proyecto según su zona climática y los tipos de espacios que alberga, es necesario comprobar que la demanda energética del mismo es inferior a la marcada como “límite” por el *Código Técnico de la Edificación*, es decir, inferior a la demanda correspondiente a un edificio en el que los parámetros característicos de los cerramientos y particiones interiores que componen su *envolvente térmica*, sean los valores límites establecidos por el *Código Técnico de la Edificación*. La definición del concepto “*envolvente térmica*” y una explicación de lo que representa puede encontrarse en el ANEXO 2.

4.1. TRANSMITANCIA TÉRMICA DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

Atendiendo al *apéndice E* del apartado *HE-1: Limitación de demanda energética* del *Código Técnico de la Edificación*, se calcula la transmitancia térmica “U” [3] para todos los elementos constructivos originalmente previstos por el proyecto de ejecución del arquitecto. Estos cálculos han sido realizados con un programa *Excel* de elaboración propia y tanto el procedimiento de cálculo como los resultados se pueden encontrar en el ANEXO 2.

Con las transmitancias calculadas, se comprueba que los cerramientos y particiones interiores que componen la envolvente térmica del edificio del proyecto tienen un valor no superior a los valores “límite” indicados por el *Código Técnico de la Edificación* para la zona climática a la que corresponde el edificio. Estos valores “límite” se encuentran en la tabla 1 del apartado 3.5.

A su vez, se comprueba que para evitar descompensaciones de la calidad térmica entre los diferentes espacios, todos y cada uno de los cerramientos y particiones interiores del edificio tienen un valor de transmitancia no superior a los valores “límite” indicados por el *Código Técnico de la Edificación* para la zona climática a la que corresponde el edificio, expuestos en la tabla 2 del apartado 3.5.

Atendiendo a los valores recogidos en el ANEXO 2, se comprueba que los valores de transmitancias de los elementos constructivos originalmente previstos por el proyecto de ejecución del arquitecto cumplen con los requerimientos anteriores, pero cabe decir que estos son muy cercanos al límite establecido, sobre todo cuando son ponderados con el área que ocupa cada uno de los cerramientos.

Se puede deducir de entre los objetivos del proyecto, definidos en la introducción, que uno de los propósitos principales va a ser abogar por la eficiencia energética y procurar, en la medida de lo posible, alcanzar un coste energético reducido. Es por ello que se decide **modificar y mejorar prácticamente la totalidad de los aislamientos** que incorporan los cerramientos originalmente previstos, dado que la eficiencia energética del conjunto depende también del tipo de aislamiento utilizado.

Además, y simplemente por coherencia, una inversión en energías renovables para climatizar un edificio que trata de ser energéticamente eficiente estaría totalmente en discordancia con un aislamiento de los cerramientos cuya calidad se encuentra cercana a un límite que es sinónimo de una demanda energética elevada.

Una vez sentadas las bases de la mejora, se utiliza el módulo de *Instalaciones del Edificio* del software CYPE, que en su pestaña *Aislamiento* permite, entre otras opciones, la introducción y modificación de los cerramientos y particiones del edificio a partir de los planos del mismo, tal y como se puede comprobar en la ilustración de abajo.

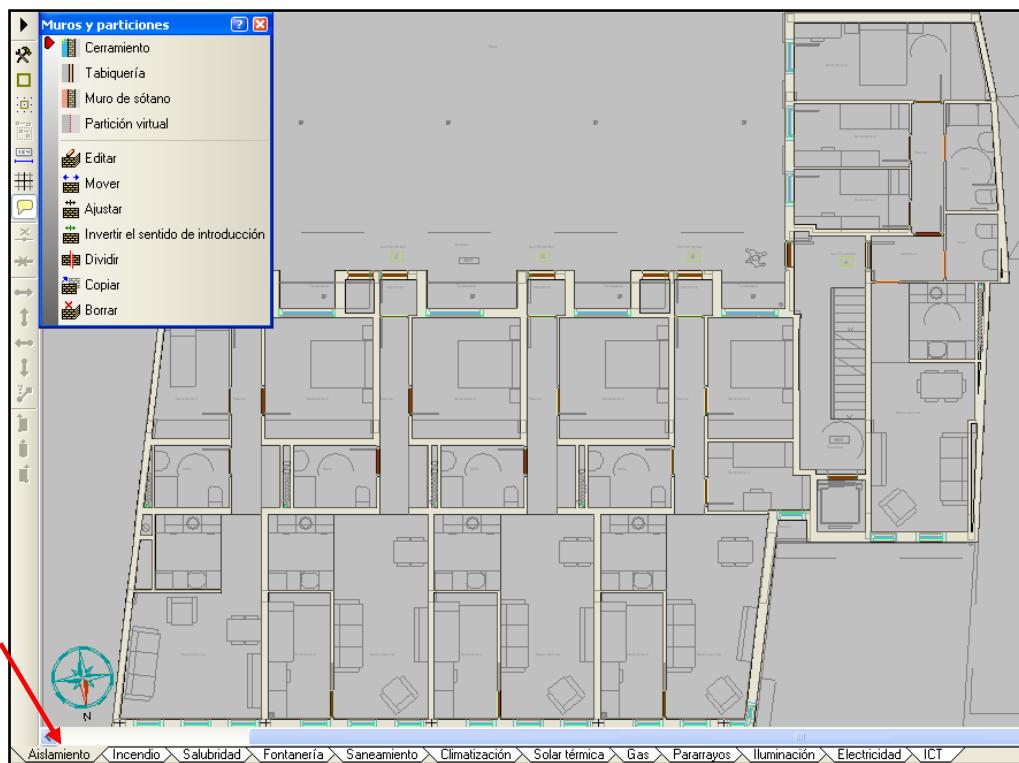


Ilustración 9 – Introducción de cerramientos y particiones con el programa CYPE

Seleccionando con este programa aislamientos de mayor calidad con la ayuda del *Catálogo de Elementos Constructivos del Código Técnico de la Edificación [4]*, se obtienen las nuevas composiciones para los elementos constructivos del edificio consiguiendo una menor demanda energética.

La descripción detallada de la composición de todos los cerramientos y particiones interiores del edificio, una vez realizadas las modificaciones, así como la transmitancia térmica resultante para cada uno de ellos puede encontrarse en el ANEXO 2.

De ahora en adelante, cada vez que se comente algún aspecto sobre los elementos constructivos, se considerarán los valores de aislamiento correspondientes a los modificados, ya que son los mejorados y los que se han tomado como válidos en la memoria del presente proyecto.

Con esta aclaración, se es ya capaz de redefinir la envolvente del edificio objeto del proyecto, cuya composición se detalla también en el *ANEXO 2*.

4.2. TRANSMITANCIA TÉRMICA DE LOS PUENTES TÉRMICOS

Un *puente térmico* [5] se define como una junta entre materiales de diferentes características que produce una discontinuidad en la capa aislante que puede originar pérdidas de calor. Una definición más extensa del concepto de “*puente térmico*” puede encontrarse en el *ANEXO 2* [6].

Por ello, aunque se trate de un elemento constructivo más, las peculiares características del puente térmico en los edificios hacen que requiera una mención aparte, ya que el cálculo de su transmitancia conlleva una dificultad añadida.

Debido a esto, es necesario tener muy en cuenta los puentes térmicos que se puedan encontrar en el edificio del proyecto. Desafortunadamente, no es tarea sencilla: desde el punto de vista de cálculo de la transmitancia, los puentes térmicos se antojan, en general, **complicados de modelar y calcular**. Esta complejidad se debe a dos motivos: por un lado, a la elevada variabilidad de composiciones y materiales existentes en el puente térmico; y por otro, a la no existencia de un flujo de calor unidireccional que pueda simplificar los cálculos. En consecuencia, hay que recurrir a cálculos excesivamente complejos o a software muy específico para el cálculo de los puentes térmicos. Por este motivo, se ha tenido que hacer uso de dos potentes programas para resolver el cálculo de las transmitancias de los puentes térmicos en el edificio que recoge el proyecto.

El primero de ellos se ha utilizado ya anteriormente para mejorar los aislamientos y es el programa *CYPE* [60]. Este programa es capaz de calcular la transmitancia de la mayoría de los puentes térmicos lineales de manera semiautomática al introducir los cerramientos del edificio, partiendo siempre de unos valores predeterminados que selecciona el usuario de acuerdo a las características del edificio. Los parámetros predefinidos que han sido seleccionados para cada uno de los tipos de puentes térmicos lineales calculados por el programa *CYPE* se pueden encontrar en el *ANEXO 2*.

En la ilustración de la izquierda que se muestra en la página siguiente, se pueden observar todos los tipos de puentes térmicos que calcula el programa *CYPE*. En la figura de la derecha, se expone un ejemplo de selección del tipo de puente térmico.

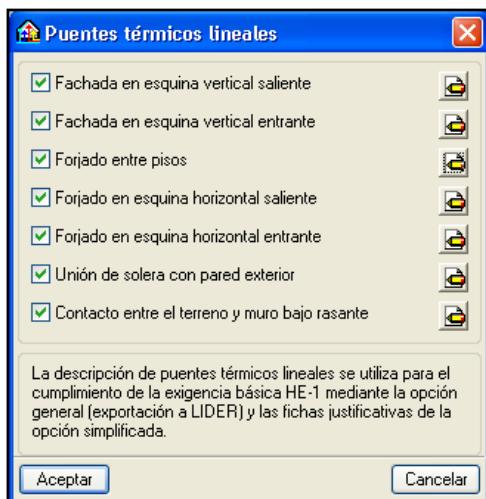


Ilustración 10 - Ventana para el cálculo de puentes térmicos con el programa CYPE

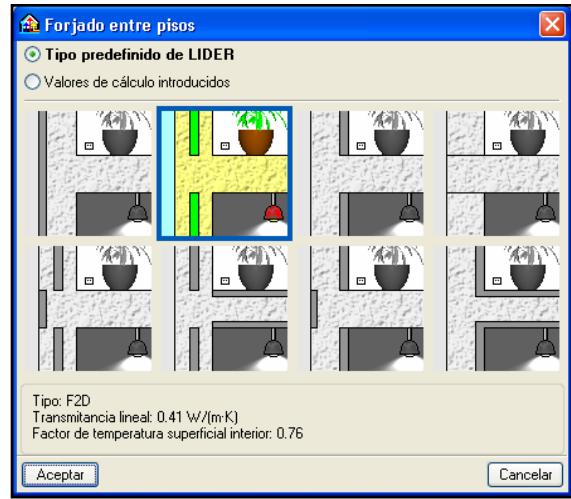


Ilustración 11 - Selección del tipo predefinido de puente térmico para forjado entre pisos con CYPE

El segundo programa utilizado es el software conocido como *THERM*. Este programa permite la introducción gráfica en 2D y modelado de los puentes térmicos para la posterior simulación del comportamiento térmico de los mismos bajo unas condiciones definidas por el usuario. Después de la lectura de varios manuales [7, 8] y una vez familiarizado con el programa, se inicia su utilización para la simulación de todos los marcos de puertas y ventanas del edificio objeto del proyecto. Con estas simulaciones, que se pueden encontrar en el ANEXO 2, se ha calculado el **coeficiente de transmisión térmica** de estos elementos. A su vez, se ha podido observar el comportamiento térmico de los mismos bajo distintas condiciones térmicas.

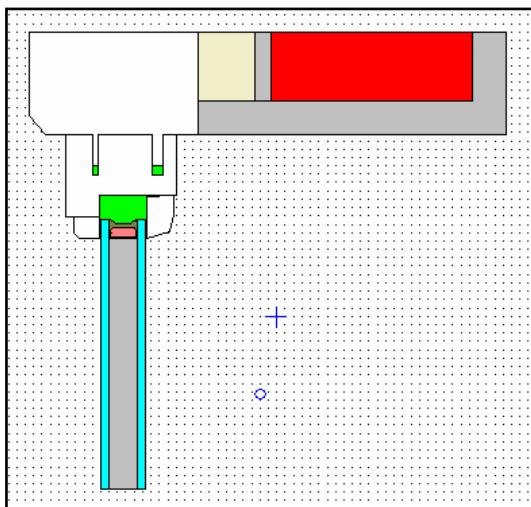


Ilustración 12 - Introducción del puente térmico en el programa THERM

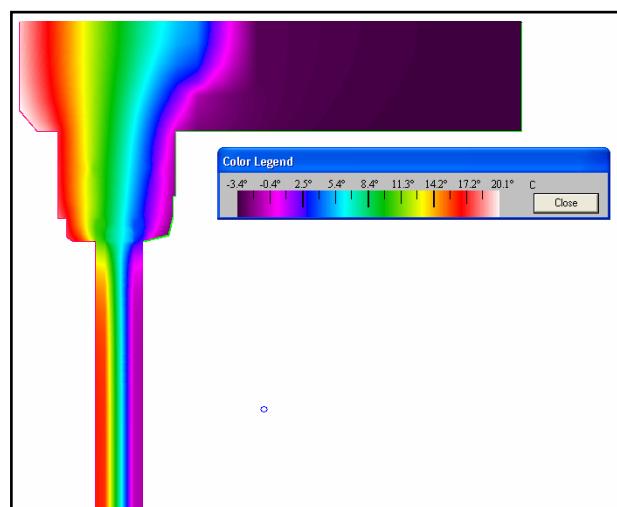


Ilustración 13 – Ejemplo de termografía infrarroja resultante de la simulación con el programa THERM

En el *ANEXO 2* se incluye una tabla resumen con los coeficientes de transmitancia térmica de todos los puentes térmicos calculados.

4.3. LIMITACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

Conocido el valor de todas las transmitancias térmicas, se debe comprobar que se cumple la exigencia básica de limitación de demanda energética que marca el *Código Técnico de la Edificación*. Con este objetivo, se rellenan las fichas justificativas, que el citado *Código* proporciona, que verifican que los parámetros de transmitancias térmicas de los elementos constructivos del edificio del proyecto están dentro de los límites establecidos. Estas fichas contienen para su comprobación los valores límite de las tablas que se utilizaron en el apartado 3.5 de esta *MEMORIA*. Todas las fichas a las que se hace alusión en este párrafo se pueden encontrar en el *ANEXO 2*.

Todos los valores de transmitancia de **los elementos constructivos cumplen las exigencias señaladas**, y por lo tanto, se puede afirmar que el edificio objeto del proyecto cumple con la “*EXIGENCIA BÁSICA HE 1- LIMITACIÓN DE DEMANDA ENERGÉTICA*”.

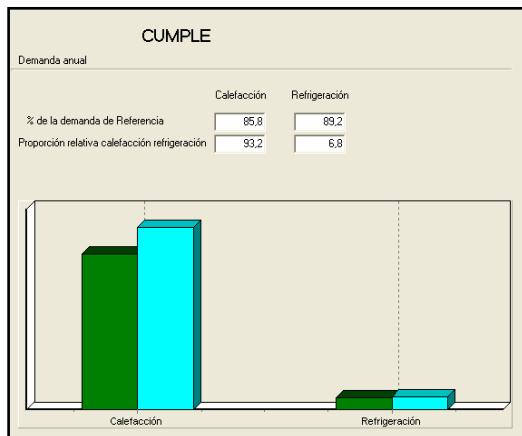


Ilustración 14 – Cumplimiento de demanda energética con el programa LIDER

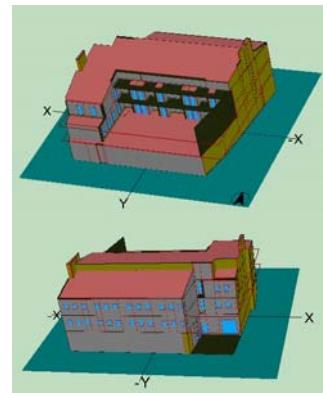


Ilustración 15 – Exportación al programa LIDER

Aprovechando que el programa *CYPE* permite exportar los parámetros y características del edificio al programa *LIDER* [64], que verifica el cumplimiento del *Código Técnico de la Edificación* en su apartado de *Ahorro de Energía HE-1*, se comprueba también por este medio que el edificio cumple con las exigencias de demanda energética. Una vez realizada la exportación, se lanza la simulación, obteniendo un resultado favorable; por tanto, **el edificio cumple con la exigencia de ahorro y energía**, tal y como se puede apreciar en la ilustración de la izquierda. El informe completo generado por el programa *LIDER* se puede encontrar en el *ANEXO 2*.



5. METODOLOGÍAS DE CÁLCULO

Se procede a explicar a continuación los métodos y medios empleados para el cálculo y dimensionado de todos los componentes que forman la instalación del edificio. Para este cálculo, se utilizan las condiciones geográficas, climáticas [9], de diseño [10], etc. definidas en el ANEXO 3.

5.1. MÉTODO DE CÁLCULO PARA CLIMATIZACIÓN

5.1.1. CARGAS TÉRMICAS Y NECESIDADES ENERGÉTICAS PARA REFRIGERACIÓN

El método utilizado para el cálculo de las cargas térmicas de refrigeración tiene en cuenta la existencia de cargas térmicas sensibles y cargas térmicas latentes. Dentro de las cargas térmicas sensibles, se han tenido en consideración las debidas a ganancias por radiación solar a través de cristales, por transmisión y radiación a través de paredes y techos exteriores, por transmisión a través de paredes, techos y puertas interiores, suelos y ventanas así como las debidas a ganancias por ventilación e infiltraciones de aire exterior y por aportaciones internas. En lo que a cargas térmicas latentes se refiere, se han estudiado atendiendo a las ganancias producidas por el calor latente de las infiltraciones de aire exterior, de las aportaciones internas y por el calor latente del aire de ventilación.

Por otro lado, y a partir de la carga térmica de refrigeración, se han calculado las necesidades mensuales y anuales de energía para refrigeración, utilizando el método de los Grados-Día.

Con estos métodos de cálculo, y utilizando como herramientas de ayuda el módulo *Instalaciones del Edificio* del programa *CYPE* y programas *Excel* de elaboración propia, se calculan las cargas térmicas y las necesidades energéticas de refrigeración del edificio.

5.1.2. CARGAS TÉRMICAS Y NECESIDADES ENERGÉTICAS PARA CALEFACCIÓN

El método utilizado para el cálculo de las necesidades de calefacción contempla la existencia de dos cargas térmicas, la carga térmica por transmisión de calor a través de los cerramientos hacia los recintos no climatizados o el exterior, y la carga térmica por enfriamiento de los recintos por ventilación e infiltración de aire exterior en los mismos.

Por otro lado, y de manera análoga al método de cálculo para refrigeración, se han calculado las necesidades mensuales y anuales de energía para calefacción a partir de la carga térmica de calefacción utilizando para ello el método de los Grados-Día.

Siguiendo estos métodos de cálculo, con la ayuda del módulo *Instalaciones del Edificio* del programa *CYPE* y mediante programas *Excel* de elaboración propia, se calculan las cargas térmicas y las necesidades energéticas de calefacción del edificio del proyecto.

5.1.3. CÁLCULO DEL SUELO RADIANTE/REFRESCANTE

El método utilizado para calcular el suelo radiante/refrescante de las distintas dependencias de las viviendas se basa en la aplicación de dimensionado de suelo radiante/refrescante del programa *CYPE*, que permite seleccionarlo en la pestaña *Climatización* de su módulo *Instalaciones del Edificio* [62], así como en la elaboración de tablas *Excel* para el cálculo de longitudes, diámetros, etc.

5.1.4. CÁLCULO DEL DEPÓSITO DE INERCIA

El método que se ha empleado para dimensionar el volumen del depósito de inercia del sistema de climatización se ha basado en las especificaciones que marca el “*Manual Técnico para instalaciones de calefacción y refrigeración por suelo*”, de la casa comercial *UPONOR*. Con estas especificaciones, se ha elaborado un programa *Excel* obteniendo los resultados que más adelante se detallan.

5.2. MÉTODO DE CÁLCULO DE A.C.S.

El cálculo de producción y acumulación de A.C.S. se realiza en función a las necesidades de suministro de A.C.S., y está basado en un sistema de preparación semi-instantánea (con acumulación) con las prescripciones marcadas en el *Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios* y en el *Código Técnico de la Edificación*, poniendo especial atención a la prevención de la legionela. Los cálculos se efectúan mediante tablas *Excel* de elaboración propia con la ayuda del documento “*Agua caliente sanitaria central*” elaborado por el *IDAE* (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía), y con la ayuda de la pestaña *Salubridad* del programa *CYPE* en su módulo de *Instalaciones del Edificio* [63].

5.3. METODO DE CÁLCULO DEL SISTEMA GEOTÉRMICO

El sistema geotérmico del edificio se ha dimensionado utilizando diferentes programas de cálculo, como el programa *CalcGeo Vaillant* [55], de la marca comercial *Vaillant*, el programa *Geociatesa* [66], de la marca comercial *Ciatesa* y el programa *Earth Energy Designer*, de *Blocon Software*.

El método de cálculo empleado para dimensionar los limitadores de caudal “K-Flows”, que se encuentran instalados en el circuito primario geotérmico, se basa en la utilización del programa *Kflows* de la marca comercial *SEDICAL* [54], que permite seleccionar estos

elementos a partir del caudal necesario para cada sonda, la velocidad del fluido en la misma y el rango de presión de trabajo.

5.4. METODO DE CÁLCULO DEL SISTEMA SOLAR TÉRMICO

El método utilizado para dimensionar el sistema de captación solar y acumulación del agua caliente sanitaria producida por el sistema solar se basa en la aplicación del módulo *Solar Térmica* del programa *CYPE* [61], dentro del apartado de *Instalaciones del Edificio*.

5.5. METODO DE CÁLCULO DE LAS REDES DE TUBERÍAS

El cálculo de las pérdidas de presión en las redes de tuberías se realiza con la ayuda de programas *Excel* de elaboración propia y del programa *CYPE* en su módulo *Instalaciones del Edificio*. Ambos se basan para el cálculo en las fórmulas de Darcy-Weisbach y de Colebroock.

5.6. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE VASOS DE EXPANSIÓN

Tanto los vasos de expansión como las tuberías de expansión se dimensionan según lo indicado por la norma *UNE 100.155/2004*, utilizando para el cálculo hojas *Excel* de elaboración propia.

5.7. METODOLOGÍA DE CÁLCULO DE VÁLVULAS DE SEGURIDAD

Las válvulas de seguridad, según la norma *UNE 100.155* a la que hace alusión la *Instrucción Técnica 1.3.4.2.5* del *Código Técnico de la Edificación*, se dimensionan mediante una hoja *Excel* de elaboración propia en función de la presión del punto donde se encuentran instaladas y de la potencia nominal del generador o del intercambiador de calor.



6. CARGAS TÉRMICAS DEL EFICICIO

6.1. CARGAS TÉRMICAS Y NECESIDADES ANUALES PARA REFRIGERACIÓN

Con los métodos de cálculo anteriormente explicados, las condiciones recogidas en el *ANEXO 3* y utilizando como herramientas de trabajo el módulo *Instalaciones del Edificio* del programa *CYPE* y programas *Excel* de elaboración propia, se calculan las cargas térmicas y las necesidades energéticas anuales de refrigeración del edificio [11], obteniendo como resultado de las mismas un valor de **37,20 kW** y **28,92 MWh/año** respectivamente. El cálculo detallado puede encontrarse en el *ANEXO 4*.

6.2. CARGAS TÉRMICAS Y NECESIDADES ANUALES PARA CALEFACCIÓN

Siguiendo los métodos de cálculo del apartado 5 de esta *MEMORIA*, con las condiciones recogidas en el *ANEXO 3*, con la ayuda del módulo *Instalaciones del Edificio* del programa *CYPE* y mediante programas *Excel* de elaboración propia, se calculan las cargas térmicas y las necesidades energéticas anuales de calefacción del edificio del proyecto [12], obteniendo como resultado de las mismas un valor de **40,32 kW** y **102,5 MWh/año** respectivamente. El cálculo detallado puede encontrarse en el *ANEXO 4*.

7. NECESIDADES ENERGÉTICAS Y DE POTENCIA PARA LA PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA

Con las condiciones especificadas en el *ANEXO 3*, y con el método que se ha indicado en el apartado 5, se calculan la potencia instantánea requerida para la producción de agua caliente sanitaria y las necesidades energéticas mensuales y anuales para este servicio, dando como resultado una potencia de **12,33 kW** y un consumo anual de energía de **14,15 MWh/año**. Los cálculos realizados para la producción de agua caliente sanitaria se adjuntan en el *ANEXO 5*.



8. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN Y A.C.S.

Con el objetivo de tener una perspectiva general de la instalación del edificio, se procede a describir el sistema de climatización y el sistema de producción de A.C.S. en su conjunto, particularizando para cada instalación en concreto desde el apartado 9 en adelante.

Los planos dispuestos en el apartado *PLANOS* pueden resultar útiles para una mejor comprensión de la descripción.

El sistema de climatización y agua caliente sanitaria (A.C.S.) estará compuesto por **dos bombas de calor geotérmicas “tierra-agua”** que funcionarán en paralelo con regulación en cascada para adaptarse a la demanda térmica. Estos equipos serán capaces de entregar a las viviendas la potencia necesaria tanto para calefacción y refrigeración como para la producción del agua caliente sanitaria. Estos equipos se encontrarán ubicados en la Sala de Máquinas, que está situada en la Planta de Garajes (Sótano) del edificio.

8.1. CIRCUITO PRIMARIO GEOTÉRMICO

Las bombas de calor geotérmicas serán las encargadas de entregar la potencia necesaria tanto para calefacción como para refrigeración. Cada bomba de calor geotérmica se conectarán en el lado del primario con sus **correspondientes colectores de impulsión y retorno** mediante circuitos individuales con conducciones de tubo de polietileno de alta densidad de 63 mm de diámetro.

En cada uno de los circuitos individuales de impulsión habrá un equipo para la circulación del fluido caloportador (agua glicolada), formado por **dos bombas de rotor seco** en paralelo, con variador de frecuencia, con sus correspondientes válvulas de corte, filtro y manómetro, así como una electroválvula de corte que aislará hidráulicamente cada una de las bombas de calor geotérmicas cuando no estén en funcionamiento. Cada uno de estos circuitos individuales irá complementado con su correspondiente termómetro, manómetro, válvula de seguridad, vaso de expansión cerrado, instalación de llenado y vaciado y dispositivo de purga.

Habrá pues **dos colectores de impulsión y dos de retorno**, uno para cada bomba de calor geotérmica. A cada colector se unirán cuatro sondas de captación en paralelo. Los colectores estarán ubicados en la Sala de Máquinas y la unión entre cada una de las sondas y los colectores se realizará con tubo de polietileno de alta densidad diámetro 32 mm dispuesto bajo la solera del sótano, a 1 m de profundidad, con objeto de evitar la afección de cargas externas. El material que compondrá los colectores será polietileno de alta densidad de diámetro 90 mm. Tal y como se puede comprobar en el esquema hidráulico del plano A-01, en los colectores se dispondrá una válvula de corte en la impulsión y otra en el retorno para cada una de las sondas, así como un **limitador de flujo** (conocido como K-flow) que garantice la circulación del caudal necesario en cada una de ellas. Asimismo, sobre los

colectores se ubicarán las vainas necesarias para acoplar los dispositivos de control de temperatura de cada sonda geotérmica.

Las **sondas geotérmicas** estarán compuestas por **ocho perforaciones verticales** de 150 mm de diámetro y 80 m de profundidad, dispuestas en campo rectangular de 4x2 y separadas como mínimo 6,5 m entre sí. Las perforaciones se realizarán bajo la solera del sótano del edificio destinado a garajes. En el interior de cada perforación, se dispondrá la sonda geotérmica propiamente dicha, compuesta por un tubo de polietileno de alta densidad en forma de U de 156 m de longitud total y 32 mm de diámetro. En la parte inferior de cada sonda se dispondrá un lastre "*pie de sonda*" de 25 kg de peso que facilitará la operación de introducción de la sonda en el pozo. Por el interior de cada sonda circulará el **fluído caloportador**, constituido por agua glicolada con punto de congelación mayor de -20°C para evitar posibles daños en los equipos por baja temperatura.

Habrá un **sistema de llenado de agua glicolada** para el circuito primario de las sondas de captación geotérmicas. El agua glicolada se preparará en un depósito dispuesto al efecto, alimentado por una tubería en la que se intercalarán un contador, para conocer el volumen de agua y así determinar la cantidad de monoetilenglicol a añadir. El agua glicolada en la proporción adecuada se introducirá en el circuito mediante una bomba de carga.

Dado que la instalación dará servicio de calefacción y refrigeración al edificio, para evitar condensaciones y pérdidas de energía se aislarán todos los circuitos y dispositivos que estén en contacto con el ambiente.

Todo lo descrito puede comprobarse con detalle en los planos A-01 y A-02.

8.2. CIRCUITO DE CLIMATIZACIÓN

Para el conjunto de las 10 viviendas, el sistema de calefacción y de refrigeración utilizado es por **suelo radiante/refrescante**, mediante tubos empotrados en el suelo por los que circula agua caliente/fría preparada en las bombas de calor geotérmicas.

Se considera que la instalación de climatización abarca todo el sistema de distribución del agua de climatización desde el equipo generador, esto es, desde las bombas de calor geotérmicas, hasta los circuitos de suelo radiante, inclusive estos últimos. La producción del agua de climatización tiene lugar en el **circuito secundario de las bombas de calor geotérmicas**, desde donde se distribuirá hacia un **depósito de inercia**, ubicado en la Sala de Máquinas, mediante una tubería de impulsión y otra de retorno, ambas de polietileno, en las que se intercalarán **dos grupos de circulación** (uno por bomba de calor geotérmica), con sus correspondientes filtros, válvulas de retención, manómetros y válvulas de corte. El circuito secundario estará complementado con su correspondiente termómetro, manómetro, válvula de seguridad, vaso de expansión y dispositivo de vaciado.



Tal y como se puede ver en el plano A-03, del depósito de inercia partirán dos circuitos independientes, uno de impulsión y otro de retorno, con conducciones de polietileno reticulado. Estos circuitos distribuirán el agua hasta los **colectores de impulsión y retorno**, situados en la Sala de Máquinas, formados por tubo de acero negro. Tanto el colector de impulsión como el de retorno se bifurcarán en **dos ramales**. Sobre los ramales del colector de impulsión, se dispondrán **dos grupos de circulación**, formados por bombas de rotor seco y caudal variable, con sus correspondientes filtros, válvulas de retención, manómetros, válvulas de corte y manguitos antivibratorios. En la parte más baja de cada ramal, y dentro de la Sala de Máquinas, se dispondrán los respectivos **dispositivos de vaciado**.

Del lado de la impulsión y el retorno partirán las **tuberías de distribución del agua de climatización** mediante dos circuitos bitubulares con conducciones de polietileno. La distribución se realizará horizontalmente por el techo de la Planta Garajes y la Planta Baja (ver planos A-03 y A-04) hasta alcanzar los patinillos que dan acceso a los armarios situados en las plantas de las viviendas (ver planos A-05 y A-06). En el punto más alto de cada circuito así como en los colectores generales de los armarios de las viviendas se dispondrá un **sistema de purga**.

En cada planta, en el corredor de acceso a las viviendas y accesibles desde el exterior de las viviendas, se ubicarán dos armarios que alojarán los **colectores generales de climatización**. En estos armarios, se dispondrán las correspondientes acometidas individuales con su respectiva llave de corte, válvula de tres vías motorizada, contador kilocalórico y filtro previo al contador (ver detalle de conexión a vivienda tipo de plano A-01).

La instalación interior de climatización para cada vivienda se compondrá de **dos colectores de suelo radiante/refrescante**, uno de impulsión y otro de retorno, ubicados en un armario situado en el vestíbulo de entrada de la vivienda. De estos colectores partirán las tuberías de polietileno, todas de 16 mm de diámetro, que componen los **circuitos de impulsión y retorno del suelo radiante/refrescante**. En cada una de las salidas del colector de impulsión, se colocará una válvula de corte manual y un caudalímetro para regular el caudal de circulación por el circuito de tubos. Sobre el colector de retorno, se dispondrá una válvula de corte accionada por cabezal eléctrico para cada uno de los circuitos.

A su vez, para evitar la condensación que ocasionalmente se pudiera originar en el suelo de los baños, se impedirá el funcionamiento del suelo refrescante en los mismos. Para ello, se instalará en el colector de impulsión de suelo refrescante un dispositivo compuesto por una sonda de temperatura que actuará sobre la válvula eléctrica dispuesta en el colector de retorno que impedirá la circulación del agua cuando su temperatura sea inferior a 20°C.

Se dispondrá un **fancoil tipo mural en el salón de cada vivienda** con el objetivo de controlar la humedad y dar apoyo en verano para contrarrestar la carga de refrigeración, eliminando así el riesgo de formación de condensaciones que se puedan producir en el suelo.



En cada vivienda, la utilización racional de la energía se conseguirá mediante los **termostatos de ambiente**, que se instalarán en salón y dormitorios. Estos termostatos actuarán tanto sobre la válvula motorizada de tres vías como sobre la válvula de corte accionada por cabezal eléctrico para cada circuito de suelo radiante/refrescante, limitando el aporte calorífico/frigorífico cuando se consiga el grado de confort deseado.

La distribución y el esquema hidráulico de funcionamiento de la instalación de climatización se pueden encontrar en los planos A-01, A-03, A-04, A-05 y A-06.

La red de tuberías estará aislada, tanto para evitar condensaciones como para evitar pérdidas térmicas, y convenientemente equilibrada en cuanto a pérdidas de carga se refiere.

Habrá un **sistema de llenado** que introducirá agua de la red cuando sea necesario en el circuito secundario de las bombas de calor geotérmicas así como en los circuitos de climatización de las viviendas.

8.3. CIRCUITO DE AGUA CALIENTE SANITARIA

El sistema de producción de agua caliente sanitaria dará servicio a los fregaderos, lavabos, duchas y bañeras de todas las viviendas. La producción de A.C.S. se realizará a través de los **colectores solares** ubicados en la cubierta del edificio. Para asegurar la continuidad en el abastecimiento de la demanda térmica en cualquier circunstancia, la instalación de energía solar debe contar con un **sistema de energía auxiliar**. Este sistema de energía auxiliar debe tener suficiente potencia térmica para proporcionar la energía necesaria para la producción total de agua caliente sanitaria en ausencia de radiación solar. La energía auxiliar se aplicará en el circuito de consumo, nunca en el circuito primario de captadores. Siguiendo las prescripciones de la *Normativa vigente* en cuanto a características, diseño y limitaciones por ahorro energético, y aplicando éstas al edificio, se ha proyectado la preparación mediante un **sistema mixto o semi-instantáneo**, de producción instantánea y acumulación, que queda representado en el plano B-01. La producción instantánea de este sistema auxiliar se realizará mediante **dos bombas de calor geotérmicas**, que trabajarán contra un **depósito de agua auxiliar** de 300 litros de acumulación.

8.3.1. CIRCUITO PRIMARIO SOLAR

La instalación de energía solar térmica constará de un circuito primario cerrado (circulación forzada) dotado de un **sistema de captación** ubicado en cubierta con una superficie total de captación de 10,50 m² y de un **interacumulador colectivo** de 733 litros.

La salida del interacumulador solar se conectará con la entrada del **depósito de consumo o depósito auxiliar**, también ubicado en la Sala de Máquinas, donde se almacenará el agua



caliente sanitaria producida por las bombas de calor geotérmicas. En el caso de que la temperatura del agua en el interacumulador solar sea superior a la del depósito de consumo, el agua saldrá directamente a la red de distribución de A.C.S; si fuera inferior se calentaría hasta la temperatura adecuada en los intercambiadores de placas de producción instantánea situados en las bombas de calor geotérmicas. Para que la temperatura de distribución de A.C.S. sea uniforme se dispondrá a la salida del depósito una válvula mezcladora de tres vías motorizada con su correspondiente sonda de temperatura que permitirá regular la temperatura al valor deseado de distribución de A.C.S..

El **circuito primario de los paneles solares** se conectará con el depósito interacumulador mediante tubo de cobre, debidamente aislado, que discurrirá desde la cubierta por un patinillo que atravesará todas las plantas, ubicado junto a una de las medianeras, hasta la Sala de Máquinas por el techo de la Planta de Garajes, tal y como se detalla en los planos *B-02 Y B-03*.

El agua glicolada del circuito primario calentada por los paneles solares se impulsará mediante el **equipo de circulación** hasta el **interacumulador** de agua calentada por energía solar. Tanto el grupo de circulación para el circuito primario de energía solar como el interacumulador estarán situados en la Sala de Máquinas. La temperatura de acumulación se regulará mediante un sistema dispuesto al efecto.

La instalación de energía solar dispondrá de un contador kilocalórico que con una medición volumétrica y dos sondas de temperatura con cabezal electrónico permitirán conocer la medición de la energía aportada por el sistema captador solar, este contador posibilita su incorporación a un sistema de gestión centralizada. Este contador kilocalórico se instalará en el primario de colectores solares.

El **fluído caloportador** que circulará por el circuito primario de paneles solares estará compuesto por una mezcla comercial de agua y propilenglicol al 31%, con el cual se evitará la congelación del agua y la posibilidad de roturas en la instalación en la época invernal, principalmente en los paneles. El **llenado** de la instalación se realizará a través de un depósito mediante una bomba de carga. En este depósito se recogerá también el **vaciado** de la instalación.

En cuanto a los elementos de seguridad del sistema de captación solar del sistema, el circuito primario dispondrá de válvula de seguridad y vaso de expansión, que deberá estar diseñado correctamente para recoger el fluido evacuado de los paneles y a su vez aguantar las temperaturas de la instalación. No debe existir ninguna válvula de retención entre los colectores y la expansión.

El **sistema de regulación de temperatura de la instalación de producción de A.C.S. con energía solar** puede resumirse en: si entre el sensor de temperatura del colector (panel) solar y el sensor de temperatura del acumulador solar de agua caliente se mide una diferencia de temperatura que sea mayor que el valor ajustado en la centralita de regulación solar, se pondrán en funcionamiento la bomba de primario del circuito solar,

calentándose el interacumulador solar de A.C.S. a través del intercambiador interior. La temperatura de este interacumulador estará controlada por la limitación electrónica de la temperatura situada en la regulación solar. Al sobrepassar la temperatura ajustada, la regulación solar desconectará las bombas de circulación del circuito solar. Esta temperatura podrá sobrepassar la de preparación de A.C.S. pues como se ha indicado, se proyecta una válvula de tres vías motorizada para la regulación de la temperatura de impulsión de A.C.S., esto supone la posibilidad de poder almacenar más energía y un consecuente ahorro de energía.

En el plano *B-01*, se detalla el esquema hidráulico de funcionamiento del sistema solar junto con el sistema auxiliar geotérmico.

8.3.2. CIRCUITO DE DISTRIBUCIÓN DE A.C.S.

Del depósito acumulador del sistema de preparación semi-instantánea partirán las **tuberías generales de distribución de agua caliente** a las viviendas. Éstas serán de polietileno reticulado, discurriendo horizontalmente por el techo de la Planta Garajes y la Planta Baja hasta alcanzar los patinillos que dan acceso a los armarios situados en las plantas de las viviendas, tal y como se puede comprobar en los planos *B-03, B-04, B-05 y B-06*.

En cada planta, en el corredor de acceso a las viviendas y accesibles desde el exterior de las viviendas, se ubicarán dos armarios que alojarán los **colectores generales de agua caliente sanitaria**. En estos armarios, se disponen las correspondientes acometidas individuales con su respectiva llave de corte, contador volumétrico, filtro previo al contador y válvula de retención.

El agua caliente sanitaria se distribuirá mediante tubería de polietileno reticulado por el techo de las viviendas hasta alcanzar baños y cocinas. En el primer caso alimentará a sanitarios (lavabos, duchas y bañeras) y en el segundo caso alimentará a fregaderos.

Para mantener la instalación a temperatura constante, se dotará a la instalación de un **sistema de retorno de A.C.S.** a lo largo de toda la distribución general, así como de una **bomba de recirculación**. De este modo, el circuito será cerrado y el A.C.S. no consumida en cada ramal o derivación retornará de nuevo mediante la bomba de recirculación y la tubería correspondiente hasta el acumulador. Así, se asegura una circulación permanente del A.C.S. garantizando la comodidad del usuario por disponer instantáneamente de A.C.S..

El circuito de agua caliente sanitaria dispondrá de un vaso de expansión para absorber las posibles dilataciones del agua cuando no exista consumo.

Todo lo descrito se puede comprobar en los planos *B-01, B-03, B-04, B-05 y B-06*.



Un esquema de la instalación general de agua sanitaria y otro de la instalación interior se pueden encontrar en los planos *B-07* y *B-08*.

Todas las tuberías de polietileno reticulado se aislarán en todo su recorrido, incluyendo llaves de corte y demás singularidades.

El sistema de regulación de temperatura para el sistema convencional estará constituido por una centralita y una sonda dispuesta en el depósito acumulador que gobernará la puesta en marcha de las bombas de calor geotérmicas y las bombas de impulsión del circuito primario de A.C.S. en función de la temperatura de consigna y de la existente en el acumulador. Esta misma centralita controlará la válvula mezcladora de tres vías motorizada para el control de la temperatura de distribución de A.C.S. y las bombas del circuito de retorno de A.C.S.

9. INSTALACIÓN GEOTÉRMICA

9.1. CONSIDERACIONES GEOTÉRMICAS

La “*energía geotérmica es la energía almacenada en forma de calor por debajo de la superficie sólida de la Tierra*” [13], tal y como la define la norma alemana VDI4640 y que ha sido adoptada por el *Consejo Europeo de Energía Geotérmica*. Esta energía engloba el calor almacenado en rocas, suelos y aguas subterráneas cualquiera que sea su temperatura, profundidad y procedencia. Este recurso equivale a 50.000 veces la energía que se puede obtener de todos los yacimiento de gas y petróleo del mundo.

A su vez, el *Instituto Geológico y Minero de España* la define como “*fuente de energía renovable abundante, de explotación viable, técnica y económicamente, que evita emisiones de gases de efecto invernadero y cuya existencia en nuestro subsuelo está probada*” [13].

Estos recursos geotérmicos están clasificados en cuatro grupos distintos según el nivel de temperatura [14]:

- Recursos de muy baja temperatura: menos de 30°C
- Recursos de baja temperatura: entre 30 y 90°C
- Recursos de media temperatura: entre 90 y 150°C
- Recursos de alta temperatura: más de 150°C

En el caso del presente proyecto, los recursos del entorno en los que se ubica el edificio son de **muy baja temperatura** (menor de 30°C), denominados también de “*baja entalpía*”.

Prácticamente la totalidad de la corteza terrestre constituye un extenso yacimiento de recursos geotérmicos de muy baja temperatura, que se ve interrumpido por la presencia de masas de agua continentales o marinas [15].

La superficie del suelo intercambia calor con la atmósfera, y sufre las variaciones diarias de temperatura hasta una profundidad de un metro aproximadamente. A 15 m de profundidad se considera que el **terreno está a una temperatura constante todo el año**, estando en torno a **14,6 °C** en el caso de Zaragoza. Por debajo de 20 metros de profundidad, la temperatura aumenta a razón de unos 3 °C por cada 100 metros como consecuencia del gradiente térmico de la Tierra.

El aprovechamiento de los recursos de muy baja temperatura está subordinado al uso de las **bombas de calor geotérmicas** (BCG) [16].

9.1.1. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN GEOTÉRMICO

Dentro de la geotermia de muy baja temperatura o baja entalpía existen dos sistemas de utilización asociados a bomba de calor geotérmica: uno utilizable únicamente donde existen acuíferos con caudal suficiente y donde el nivel freático permite su utilización desde el punto de vista técnico-económico, que se denomina “*sistema de geotermia de circuito abierto*”; y otro, donde el intercambio con la tierra se realiza mediante sondas dispuestas en perforaciones verticales [17] realizadas al efecto o enterradas horizontalmente en el terreno y por las que circula un fluido de intercambio, denominado “*sistema de geotermia con sondas de captación en circuito cerrado*”.



Ilustración 16 – Sistema de geotermia de circuito abierto

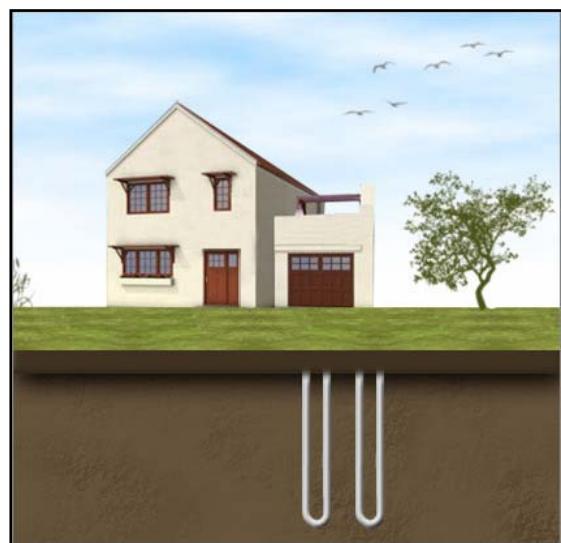


Ilustración 17 – Sistema de geotermia de circuito cerrado

En la geotermia de circuito abierto, pese a que el balance de agua en el acuífero apenas se modifica, sí que **se alteran las características físico-químicas del agua**, puesto que la inyección de aguas se realiza con saltos térmicos de 5 a 15°C y con importantes caudales, de hasta 100 l/s. En Zaragoza, existen en la actualidad más de 100 captaciones que aprovechan el agua subterránea para uso de climatización, estimándose la utilización para estos usos en 13 Hm³/año [18]. Cuando el número de sistemas se concentra en determinadas zonas, **el aumento de la temperatura del agua de los acuíferos afecta al rendimiento de las bombas de calor geotérmicas**. Además de la contaminación térmica, se originan otras alteraciones de carácter físico-químico como: precipitación de la disolución de sales en el acuífero, reducción de su porosidad, disminución del oxígeno disuelto en agua, etc.

Para evitar en la medida de lo posible este tipo de alteraciones medioambientales, se selecciona para la climatización del edificio a estudio un **sistema de captación geotérmica con sondas en circuito cerrado**.

Dentro de esta clasificación, se ha seleccionado la **sonda geotérmica vertical**, dado que la temperatura del terreno presenta mayor estabilidad a lo largo del ciclo de funcionamiento tanto de verano como de invierno. Además, se elige este sistema de sondas geotérmicas cerradas en perforación vertical por los condicionantes de la zona donde se ubica el edificio del proyecto, dado que se encuentra en pleno casco urbano, por lo que el campo de sondas de captación geotérmica deberá ubicarse bajo la solera de la planta sótano del edificio destinada a garajes.

9.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UNA INSTALACIÓN CON BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA

Esquemáticamente se puede definir una instalación con bomba de calor geotérmica como un sistema que cede y absorbe calor del terreno a través de un conjunto enterrado, vertical en este caso, de tuberías de material plástico de alta densidad y que en síntesis está compuesto por:

- una gran masa térmica (suelo) que permite ceder/extrair calor
- un conjunto de tuberías enterradas por las que circula el fluido caloportador
- un sistema hidráulico
- una bomba de calor “*tierra-agua*” que absorbe/cede calor al sistema de utilización

La tecnología de las bombas de calor por compresión se basa en la **máquina con ciclo de Carnot [19]**. El foco frío o fuente cede calor en el evaporador al fluido refrigerante frigorífico que tiene un bajo punto de ebullición y se encuentra a una temperatura inferior que el foco frío, pasando a estado gaseoso y manteniendo una baja temperatura, siendo comprimido por el compresor que eleva su presión y aumenta su energía interna. El fluido pasa después por un intercambiador de calor, llamado condensador, donde cede calor al foco caliente y cambia a estado líquido pasando por una válvula de expansión donde recupera la presión inicial y se enfriá bruscamente. Posteriormente el fluido vuelve a pasar por el evaporador donde absorbe calor del foco frío, evaporándose y pasando por el compresor nuevamente, cerrándose así el ciclo.

Se definen a continuación los conceptos de circuito primario y secundario para la instalación objeto del proyecto.

El **circuito primario** lo constituyen el intercambiador de la bomba geotérmica donde se realiza la transferencia de calor entre el fluido refrigerante frigorífico y el fluido del circuito de captación geotérmica.

El **circuito secundario** está compuesto por el intercambiador de la bomba de calor geotérmica donde se realiza la transferencia de calor entre el fluido refrigerante y la instalación de climatización y A.C.S. de las viviendas.

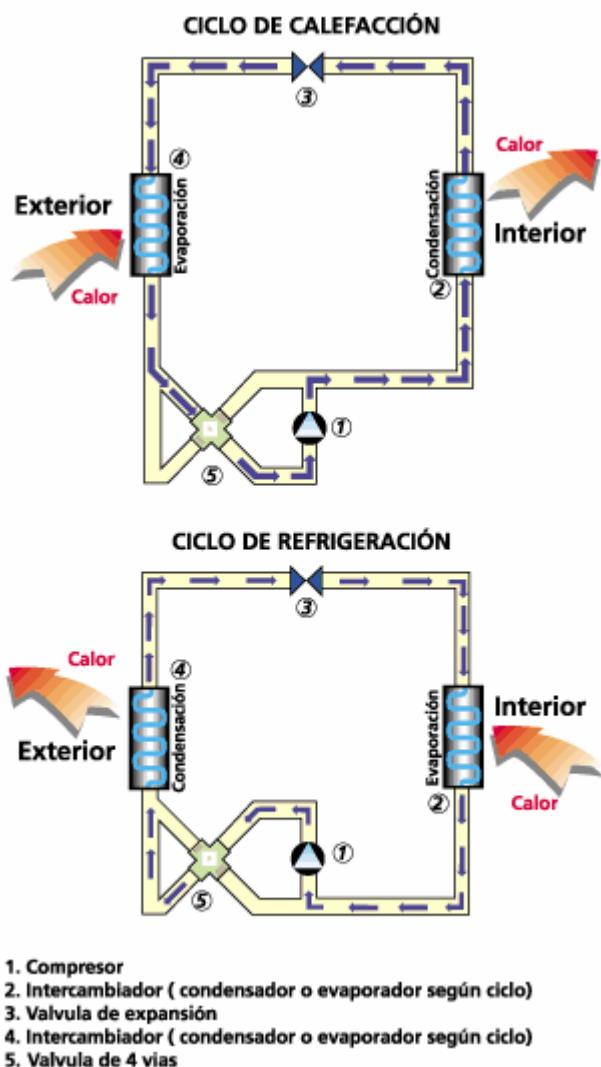


Ilustración 18 – Esquema de funcionamiento de bomba de calor geotérmica

La **inversión de los ciclos invierno-verano** se realiza mediante la válvula inversora de 4 vías que llevan incorporadas las bombas de calor geotérmicas, situada en la zona de descarga del compresor.

Las ventajas que presenta un sistema de climatización con bomba de calor geotérmica denominada “tierra-agua” frente a otra fuente de calor y de frío, es su **elevada eficiencia energética**, puesto que para su funcionamiento en modo de calefacción suelen tener un COP (Coefficient Of Performance) superior a 3,5 y para refrigeración el EER (Efficiency Energy Rate) es superior a 4,8. En otros términos, por cada kilovatio absorbido de la red eléctrica, la bomba de calor geotérmica entrega 3,5 kW para poder utilizar en el sistema de calefacción y 4,8 kW en el sistema de refrigeración.

En el **sistema de calefacción** del edificio del proyecto, el foco frío lo constituye el captador geotérmico, formado por el campo de sondas subterráneas, donde se extrae el calor mediante el fluido caloportador geotérmico a través del evaporador del circuito primario, pasando así el fluido refrigerante a fase gas para ser posteriormente comprimido por el compresor y ceder calor al foco caliente, formado por el secundario del sistema de calefacción. Una vez ha sucedido esto, se repite nuevamente el ciclo como se ha indicado antes.

En el **modo de refrigeración** sucede lo contrario, el circuito secundario de la instalación está en contacto con el evaporador de la bomba de calor, absorbiendo el fluido refrigerante el calor del sistema (enfriando el agua de climatización) pasando éste a fase gaseosa. Posteriormente se comprime elevando su temperatura, llegando al condensador del primario, que está en contacto con el fluido caloportador geotérmico cediendo así el calor al terreno y repitiéndose nuevamente el ciclo.

El elevado rendimiento de las bombas de calor geotérmicas (“*tierra-agua*”) en comparación con las bombas de calor “*aire-aire*” o “*aire-agua*” (aerotermia) se basa en la **estabilidad de la temperatura del foco frío** con el que intercambia el flujo térmico. Así, en el modo de calefacción (invierno) la temperatura del terreno se mantiene en un valor promedio aproximado de 12 °C, llegando la temperatura del aire exterior a valores por debajo de 5 °C. Por otro lado, en el modo de refrigeración (verano) las oscilaciones térmicas del terreno son muy reducidas, manteniéndose las temperaturas promedio en torno a los 17 °C; mientras que en el exterior el aire puede alcanzar temperaturas de 30 °C. Esta estabilidad térmica del terreno permite obtener mejores rendimientos para las bombas de calor geotérmicas.

9.3. BOMBAS DE CALOR GEOTÉRMICAS

En la determinación de la potencia requerida para satisfacer las necesidades de calor, frío y agua caliente sanitaria se parte, en primer lugar, del cálculo de la previsión de demanda térmica de calefacción y refrigeración del edificio. De los cálculos realizados en el *ANEXO 6*, se extraen los siguientes resultados:

- Carga térmica de refrigeración: 37,20 kW
- Carga térmica de calefacción: 40,32 kW
- Potencia instantánea requerida para A.C.S.: 12.33 kW

La potencia teórica de la bomba para cubrir la climatización vendrá dada por la mayor de las demandas, dado que la potencia instalada deberá cubrir las necesidades térmicas de todos los escenarios. Por tanto, la instalación de geotermia estará formada por **dos bombas de calor geotérmicas VAILLANT modelo geoTHERM Pro VWS 220/2, tipo “*tierra-agua*”, con una potencia nominal individual de 22,1 kW para calefacción, 22,4 kW para refrigeración y 20,3 kW para agua caliente sanitaria**, que trabajarán en paralelo sobre los colectores de los circuitos secundarios de climatización y sobre el depósito de A.C.S.. Estas bombas funcionarán en cascada y estarán ubicadas en la Sala de Máquinas situada en la plena sótano (garajes) del edificio, tal y como se puede comprobar en el plano A-02.



Ilustración 19 – BCG VAILLANT geoTHERM Pro VWS 220/2

9.4. CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO

El edificio del proyecto, tal y como se ha indicado anteriormente, se encuentra situado en Zaragoza, a una distancia de 180 m del río Ebro, con unas coordenadas geográficas 42° 19' N, 1° 44' W y una elevación de 208 m sobre el nivel del mar.

De acuerdo con el *Atlas de la energía geotérmica en Aragón* [20] y los análisis geológicos realizados para el estudio de cimentaciones en edificios colindantes, se puede decir que el subsuelo de la zona está formado por **margas, lutitas, yesos y sales impermeables** en su conjunto. Las *lutitas* son rocas sedimentarias detríticas integradas por partículas del tamaño de la arcilla y del limo [21]. Se trata pues de terrenos postorogénicos, con materiales de edad neógena y cuaternaria [22].

El nivel freático en la zona donde se asentará el edificio se encuentra a una cota aproximada de -10 m, pudiendo llegar en la época de estiaje a -20 m. En estas condiciones, se puede indicar que el subsuelo donde se asienta el edificio tiene una potencia térmica lineal aproximada de 18 W/m para los sedimentos secos (primeros 20 metros bajo el suelo) y 45 W/m para el resto de la perforación, según datos indicados en la norma *UNE EN 15450*, para un funcionamiento anual de 2400 h/año [23]. **La potencia térmica lineal media del pozo, con estos valores, es de 38 W/m**, valor muy inferior a las recomendaciones dadas por los manuales para los terrenos de estas características, que la sitúan en torno a 50 W/m [24, 25].

No obstante, la potencia térmica lineal real del terreno se determinará a partir de la conductividad real del pozo, obtenida mediante el *Test de Respuesta Térmica (TRT) del terreno*, que se explicará más adelante.

La **capacidad calorífica volumétrica del terreno oscila entre 1,8 y 2,3 MJ/m³ K**. La temperatura media del terreno a 15 m de profundidad se considera constante y es de 14,6°C. Por debajo de 20 metros de profundidad la temperatura del terreno aumenta a razón de 3°C por cada 100 m.

La presencia de *acuíferos* en el subsuelo mejora la conductividad del terreno y ayuda a estabilizar la temperatura durante el funcionamiento de la instalación.

La potencia que será necesaria absorber del terreno para satisfacer las necesidades de calefacción del edificio será de **31,02 kW** y la que se cederá al terreno en el modo de refrigeración será de **44,76 kW**. El cálculo de estas potencias se detalla en el *ANEXO 6*.

9.4.1. TEST DE RESPUESTA TÉRMICA DEL TERRENO

El funcionamiento correcto de una bomba de calor geotérmica depende de un adecuado dimensionamiento del *conjunto bomba de calor-sistema de captación de energía*, ya que tendrá que existir un equilibrio entre ellos. De aquí puede deducirse la importancia del sistema de captación, siendo la longitud del mismo el parámetro más importante a tener en cuenta en su diseño. Dicha longitud, como se ha señalado anteriormente, viene determinada por la capacidad que tenga el terreno para transmitir energía, esto es, por la **conductividad térmica del terreno** a lo largo de toda la perforación.

Para determinar la conductividad térmica real del terreno o más exactamente de todo el material que rodea al sistema de captación (compuesto por las sondas geotérmicas, el fluido caloportador, el material de relleno, la presencia o no de agua subterránea y el propio

terreno), existe un método denominado *Test de Respuesta Térmica del terreno (TRT)* [26], que se desarrolló en países como EE.UU .o Suecia en los años 90, y que se encuentra explicado con más detalle en el **ANEXO 6**.

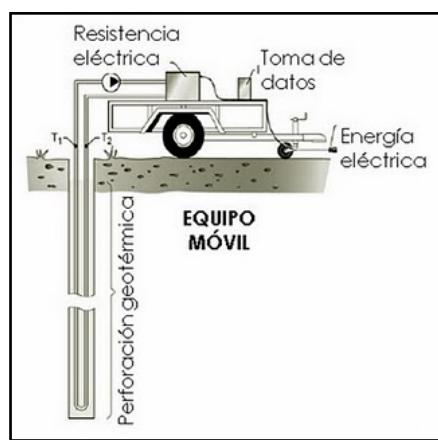


Ilustración 20 –Equipo móvil para TRT

Con el TRT se determinará si la conductividad real media resultante es igual o superior a la tomada como teórica para el cálculo. Si fuera inferior, sería necesario recalcular el campo de captación aumentando el número de perforaciones o la profundidad de las mismas, tomando como dato de partida el valor real de la conductividad media del terreno.

9.5. PERFORACIONES

Como ya se ha indicado, las perforaciones para las sondas se situarán en la planta sótano del edificio dispuestas en campo rectangular de 4x2, tal y como muestra el plano A-02, lo que supone un total de 8 perforaciones. La separación entre perforaciones será de 6,50 m, guardándose una distancia de al menos 3 m a los edificios colindantes y límites de propiedad.

El diámetro de cada perforación será de 150 mm, y la profundidad total de cada perforación será de 80 m, dejando en la parte inferior una zona de 1 m por debajo de la sonda para facilitar el relleno de la perforación. Se encamisarán los 10 primeros metros de cada pozo con tubo de acero de 5 mm de espesor, para dar estabilidad al mismo, poder sellar con garantía la boca de la perforación una vez introducidas las sondas geotérmicas y con el fin de evitar la entrada de contaminantes externos y sellar los acuíferos atravesados durante la perforación.

Un esquema aclaratorio de una de las perforaciones puede encontrarse en el detalle **PERFORACIÓN+SONDA** incluido en el plano A-02.

Las perforaciones se realizarán antes de construir el edificio, una vez realizada la excavación de tierras para el vaciado del sótano. El material extraído de las perforaciones se llevará a un vertedero controlado.

Por la composición del terreno, poco estable en su conjunto, se utilizará para la perforación una **máquina de rotación con circulación directa de lodos**. En la perforación se emplearán lodos cuya composición no altere la calidad del agua subterránea presente en el subsuelo.

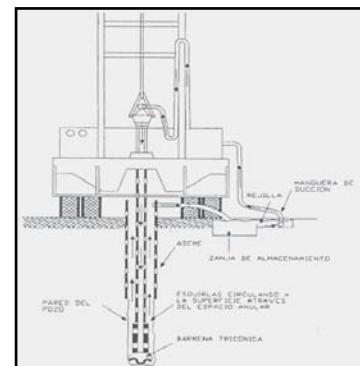


Ilustración 21 – Perforación por rotación con circulación directa

9.6. SONDAS GEOTÉRMICAS

En el interior de cada perforación, se instalará una sonda de captación geotérmica formada por un **tubo de polietileno de alta densidad (PE HD) dispuesto en U simple**, de 156 m de longitud total, que responderá a las exigencias de la norma *UNE EN 12201*. En el ANEXO 6 se ha realizado el cálculo de la longitud de las sondas de captación utilizando el programa *GeoCIATESA*, de la marca comercial *CIATESA* [57]. Las especificaciones de las sondas serán las siguientes:

- Tipo de material: PE-HD 100 PN20 SDR-9
- Diámetro nominal del tubo: 32 mm (DN 32)
- Espesor del tubo: 3,6 mm
- Conductividad del tubo: 0,40678 W/m K
- Rugosidad del tubo: 0,01 mm
- Peso del tubo: 0,33 kg/m
- Contenido de agua del tubo: 0,489 l/m lineal

Una representación gráfica de la disposición de las sondas geotérmicas puede encontrarse el detalle *PERFORACIÓN+SONDA* del plano A-02.

El material de las sondas será resistente al metilenglicol, metanol y propilenglicol que pudiera llevar como componentes anticongelantes el fluido caloportador de energía.

Los tubos irán en bobinas de 100 m de longitud, y los empalmes entre tubos y los de éstos con sus accesorios se realizarán mediante soldadura por termofusión o socket.

En la parte inferior de la sonda se dispondrá un pie de sonda que facilitará la operación de introducción de la sonda en el pozo. Este pie de sonda será un **lastre** de 25 kg de peso [27], y estará colocado tal y como se muestra en el detalle *PERFORACIÓN+SONDA* del plano A-02.

Las sondas se introducirán en el pozo con la ayuda de un mecanismo desbobinador, evitando que los tubos rocen con la embocadura de la perforación o las paredes de la misma y controlando la velocidad de descenso, puesto que esta operación se debe realizar lentamente y con las debidas precauciones.

Además, las sondas se colocarán en el pozo con **centradores-separadores**, que mantendrán los tubos separados entre sí a una distancia prevista de 90 mm entre ejes. El centrador-separador llevará en el centro el registro para instalar el tubo de inyección para el relleno del pozo. Los centradores se colocarán a una distancia entre si de 2 m.

Las sondas se llenarán de líquido antes de introducirlas en el pozo, se cerrarán y someterán a una **prueba de estanqueidad [28]**. Se dispondrán en el pozo con el lastre en su parte inferior para que al introducir el material de relleno, que es de mayor densidad, no resulten aplastadas al aumentar la presión exterior ni sean empujadas hacia arriba.

Antes de introducir el relleno se realizará una prueba de presión a 6 bar durante 30 min comprobando que la presión no desciende más de 0,6 bar para que el resultado sea satisfactorio.

Una vez rellenada la perforación se realizará para cada sonda una prueba de presión definitiva según lo establecido en la norma *DIN V 4979-7*.

9.7. RELLENO

Una vez que se ha ejecutado la perforación, se han instalado las sondas de intercambio geotérmico y se han realizado las pruebas de presión con resultado satisfactorio, se procederá a llenar el espacio anular que queda entre las tuberías de las sondas y las paredes del hueco del sondeo, con el objetivo de obtener un **buen contacto térmico** entre el intercambiador vertical y el terreno y poder cerrar el sondeo para impedir la entrada de contaminantes externos.

El relleno se realizará mediante **tubería de inyección desde la base [29]**. Este sistema permitirá desalojar mejor las bolsas de aire que pudieran quedar ocluidas durante el llenado, mejorando así la conductividad térmica entre el material de relleno de la sonda geotérmica y el terreno. El tubo para la inyección del relleno hasta el fondo del pozo será de un material con las mismas características que el de las sondas geotérmicas.



Ilustración 22 – Relleno de la perforación

El material de relleno **[30]** deberá reunir varios requisitos importantes: que sea un producto inocuo para las aguas subterráneas que puedan encontrarse en el subsuelo, que su conductividad térmica sea similar a la media de los valores de la conductividad del



terreno, que tenga baja permeabilidad, buena adhesión a la sonda y al terreno, buena plasticidad y elevada resistencia a las heladas.

En base a lo descrito, se inyectará una **suspensión de arena de sílice de granulometría de 2 a 4 mm y bentonita al 10%**, impulsando desde la parte más baja del sondeo hasta alcanzar la cota -10 m con objeto de no contaminar los acuíferos. La *bentonita* es un material que se encuentra como tal en la naturaleza y está formada por una arcilla compuesta por minerales del grupo de las esmectitas [31].

Desde los últimos 10 m hasta la superficie, se inyectará una **mezcla de cemento-bentonita** con el fin de consolidar la zona más próxima a la superficie. La función del cemento es producir una solidificación y endurecimiento de la mezcla, mientras que la bentonita garantiza la estabilidad de la suspensión, reduce la permeabilidad y proporciona la plasticidad necesaria que permita la dilatación de las sondas de polietileno.

En el detalle *PERFORACIÓN+SONDA* que se encuentra el plano A-02 se puede observar gráficamente cómo está dispuesto el relleno dentro de la perforación.

9.8. FLUIDO CALOPORTADOR

Tiene como misión absorber o ceder calor al terreno a través de las sondas geotérmicas mediante circuitos cerrados conectados con el primario de la bomba de calor geotérmica y que circula por estos circuitos mediante la correspondiente bomba de impulsión.

Las propiedades que deberá reunir se pueden resumir en: estable químicamente, que no sea tóxico, que no sea corrosivo, buen transmisor térmico, de bajo coste y larga duración.

Con estas consideraciones, el fluido caloportador seleccionado estará compuesto por una **mezcla de agua glicolada con el 33% de monoetenglicol en volumen**, capaz de soportar temperaturas de hasta -20°C, dado que las sondas en el periodo de calefacción podrían alcanzar temperaturas negativas, lo que originaría problemas de funcionamiento y averías en los equipos instalados.

Las características del fluido seleccionado para esta instalación son las siguientes:

- Composición: Agua 67% + Monoetilenglicol 33%
- Conductividad térmica: 0,453 W/m K
- Capacidad calorífica específica: 3565 J/kg K
- Densidad: 1068 kg/m³
- Viscosidad: 0,0076 kg/m s
- Punto de congelación: -21°C

Para mejorar el rendimiento de la captación, la circulación del fluido a través de las sondas deberá ser al menos en régimen transitorio, con número de Reynolds superior a

2000, pues se ha comprobado en la práctica que se obtiene un 15% más de rendimiento que en régimen laminar [32].

Para la simulación de la evolución de la temperatura del fluido, dependiente de la del terreno, durante un ciclo de utilización del sistema geotérmico de 25 años, se ha utilizado el programa *Earth Energy Designer* (EED). Tal y como se aprecia en las ilustraciones que se muestran a continuación, la temperatura final mínima del fluido en el año 25 será de 6,6 °C, y la máxima para el mismo año de 26,46 °C.

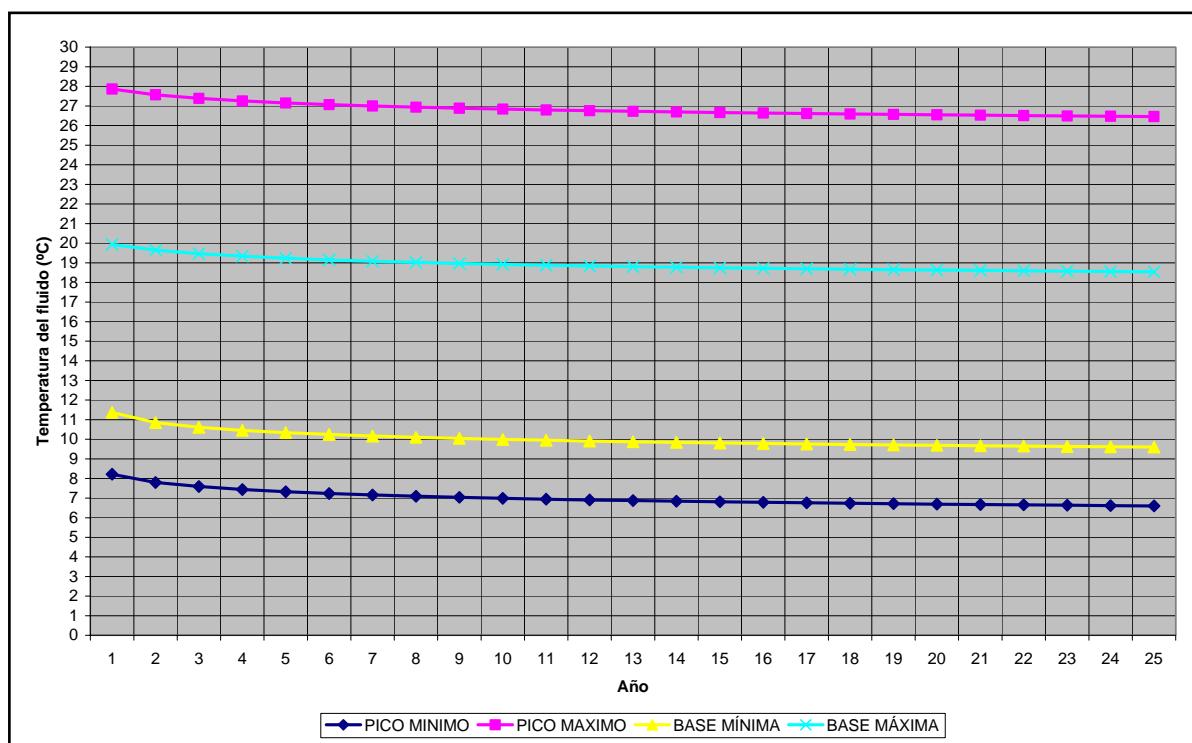


Ilustración 23 – Evolución de la temperatura del fluido durante un periodo de 25 años

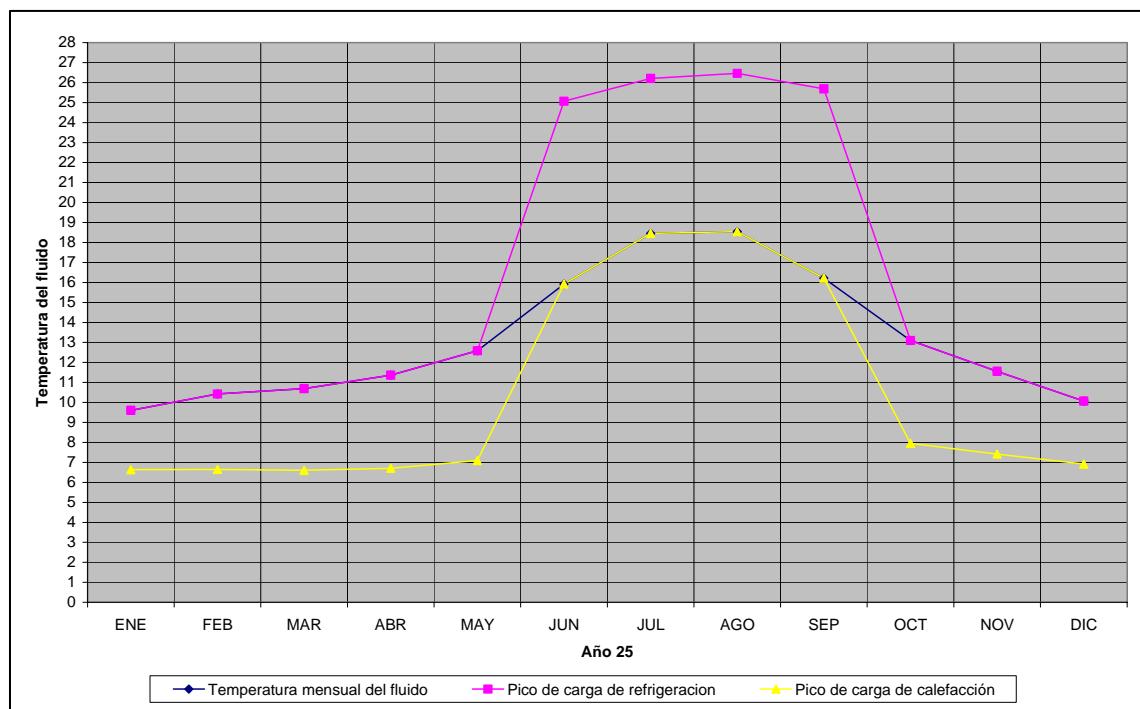


Ilustración 24 –Temperatura mensual del fluido en el año 25

9.9. INFLUENCIA TÉRMICA ENTRE SONDAS

En el proceso de dimensionado de la instalación, se deberá tener presente el impacto de la interferencia con instalaciones geotérmicas vecinas. La dimensión de esta zona de interferencia térmica y el grado de influencia dependen de las características del suelo (conductividad y capacidad térmica), así como de la presencia de corrientes de agua subterráneas [33].

Dentro del campo geotérmico del edificio del proyecto, las sondas se distanciarán al menos 6,5 m entre sí para aminorar en la medida de lo posible la interferencia entre ellas.

9.10. CIRCUITO HIDRÁULICO

9.10.1. Tuberías

Las tuberías de las sondas se han definido en el apartado 9.6.

Las tuberías utilizadas para el circuito de conexión entre las sondas geotérmicas y los colectores geotérmicos situados en la sala de calderas serán de polietileno de alta densidad (PE-HD) con las siguientes características:



- Tipo de material: PE-HD 100 PN20 SDR-9
- Diámetro nominal del tubo: 32 mm (DN 32)
- Espesor del tubo: 3,6 mm
- Conductividad del tubo: 0,40678 W/m K
- Rugosidad del tubo: 0,01 mm

Los colectores geotérmicos estarán compuestos también por tubo de polietileno de alta densidad (PE-HD). Sus características serán las que se indican a continuación:

- Tipo de material: PE-HD 80 PN10 SDR 13,6
- Diámetro nominal del tubo: 90 mm (DN 90)
- Espesor del tubo: 6,6 mm
- Conductividad del tubo: 0,40678 W/m K
- Rugosidad del tubo: 0,01 mm

Las tuberías que unirán los colectores geotérmicos con las bombas de calor serán de tubo de polietileno de alta densidad (PE-HD), cuyas características serán las siguientes:

- Tipo de material: PE-HD 80 PN10 SDR 13,6
- Diámetro nominal del tubo: 63 mm (DN 63)
- Espesor del tubo: 4,7 mm
- Conductividad del tubo: 0,40678 W/m K
- Rugosidad del tubo: 0,01 mm

Los diámetros de las tuberías se seleccionarán de forma que la velocidad de circulación del fluido sea cercana a 0,7 m/s. La disposición y los diámetros de las tuberías del circuito primario geotérmico quedan descritos en los planos A-01 y A-02.

El caudal de fluido caloportador se determinará de acuerdo con las especificaciones del fabricante de las bombas de calor geotérmicas, y tiene un valor de 4,86 m³/h para el circuito de cada una de las bombas geotérmicas.

9.10.2. Pérdidas de carga de la instalación

Se determinarán las pérdidas de carga en los siguientes componentes de la instalación:

- Sondas geotérmicas
- Tuberías hasta bombas de calor geotérmicas, incluyendo colectores
- Intercambiador de la bomba de calor geotérmica

Las pérdidas de carga del circuito primario geotérmico se calculan en el ANEXO 6, y tienen un valor de 12,125 m.c.a..



9.10.3. Bombas de circulación

Las bombas de circulación necesarias en el circuito primario geotérmico se deberán dimensionar para una presión disponible igual a las pérdidas totales del circuito, de valor 12,12 m.c.a.. Habrá una bomba para cada uno de los dos circuitos primarios geotérmicos. El caudal de circulación tendrá un valor de 4,86 m³/h. Las bombas se han dimensionado y seleccionado en el *ANEXO 6*.

Se han seleccionado bombas en línea, de rotor seco, con variador de frecuencia, con las características señaladas en el *ANEXO 6*. Los materiales constitutivos de las bombas serán compatibles con el fluido caloportador.

9.10.4. Válvulas

La elección de las válvulas se realizará de acuerdo con la función que desempeñan y sus condiciones extremas de funcionamiento (presión y temperatura), siguiendo preferentemente los criterios siguientes:

- Para aislamiento: válvulas de esfera.
- Para equilibrado de circuitos: válvulas de asiento.
- Para vaciado: válvulas de esfera o de macho.
- Para llenado: válvulas de esfera.
- Para purga de aire: válvulas de esfera o de macho.
- Para seguridad: válvulas de resorte.
- Para retención: válvulas de disco de doble compuerta, o de clapeta.

Las válvulas de seguridad serán capaces de evacuar el caudal para la potencia máxima del captador geotérmico, de manera que en ningún caso se sobreponga la presión máxima de trabajo del sistema.

La disposición de las válvulas para el circuito primario geotérmico está detallada en el plano A-01.

9.10.5. Vasos de expansión

Se utilizarán 2 vasos de expansión cerrados con membrana, uno por circuito primario geotérmico. Los vasos de expansión cerrados cumplirán con el *Reglamento de Recipientes a Presión* y estarán debidamente timbrados. Las tuberías de conexión de los vasos de expansión no se aislarán térmicamente y tendrán el volumen suficiente para enfriar el fluido antes de alcanzar el vaso.

El cálculo y selección de los vasos de expansión y de las tuberías de expansión se ha realizado en el *ANEXO 6*.



9.10.6. Sistemas de llenado

Los circuitos con vaso de expansión cerrado deberán incorporar un sistema de llenado que permita llenar el circuito primario de fluido caloportador y mantenerlo presurizado.

El sistema de llenado del circuito primario geotérmico será de tipo manual con bomba de carga aspirando desde depósito de agua glicolada. Habrá un sistema de llenado para todo el circuito geotérmico. La disposición de dicho sistema de llenado se describe en el plano A-01.

9.11. AISLAMIENTOS

El material que se ha seleccionado para el aislamiento de las tuberías del circuito primario geotérmico será coquilla flexible de espuma elastomérica tipo ARMAFLEX SH o similar. Todas las juntas estarán pegadas con adhesivo 520 ARMAFLEX o similar y encintadas con cinta adhesiva.

Los espesores de estos aislamientos se seleccionarán de acuerdo con lo indicado en el **ANEXO 10**.



10. INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA

10.1. CONSIDERACIONES SOBRE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

La energía solar térmica consiste en el aprovechamiento del calor proveniente del Sol mediante el uso de paneles solares térmicos, también denominados colectores, para la producción de calor o energía térmica [34]. En el caso del presente proyecto, el calor solar se aprovecha para la producción de agua caliente sanitaria (A.C.S.).

10.1.1. SELECCIÓN DEL TIPO DE INSTALACIÓN SOLAR

En lo que a la producción de agua caliente para usos sanitarios se refiere, cabe decir que hay dos tipos de instalaciones solares: las de “circuito abierto” y las de “circuito cerrado” [35]. En las primeras, el agua sanitaria pasa por los colectores solares, donde es calentada y llevada a consumo directamente. En las segundas, el calor de los captadores, absorbido por un fluido caloportador que discurre por un circuito cerrado, es transferido a través de un serpentín en contacto con el agua sanitaria.

De entre estos dos tipos de instalaciones solares, se ha seleccionado la **instalación solar de circuito cerrado**, pues aunque tiene más costos y es menos eficiente (energéticamente hablando), presenta menos inconvenientes que la de circuito abierto, que en zonas como Zaragoza, con temperaturas en invierno que pueden estar por debajo del punto de congelación del agua, podría verse afectada por constantes roturas del colector. Además, en Zaragoza el agua tiene alta concentración de sales, lo que podría acabar obstruyendo los paneles.

10.1.2. SELECCIÓN DEL TIPO DE CIRCULACIÓN DEL FLUIDO CALOPORTADOR

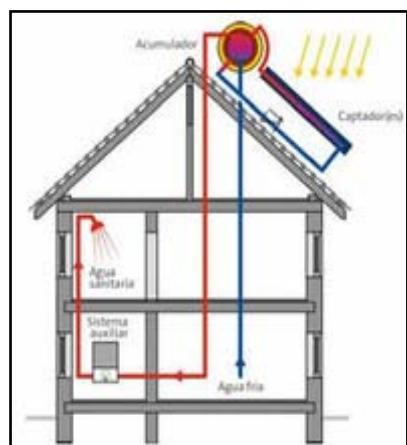


Ilustración 25 – Sistema solar de circulación natural

Las instalaciones solares también pueden clasificarse en función del tipo de circulación del fluido. Así, la circulación del fluido se puede conseguir por “circulación natural” o “circulación forzada” [36].

La **circulación natural** [37] es el caso de un sistema termosifónico. Su funcionamiento se basa en un elemental principio físico; un líquido si se calienta, es menos denso y tiende a subir hacia lo alto. En una instalación de circulación natural, el fluido contenido en los tubos del colector sube hacia el intercambiador del interacumulador cediéndole calor, mientras que el frío vuelve a bajar hacia el colector solar. En este caso el depósito debe colocarse en un nivel superior a los colectores para permitir la

convección por diferencia de temperatura. Para facilitar el movimiento del agua tiene que haber una diferencia suficiente de temperatura entre el colector y el acumulador y una altura entre el acumulador y los colectores mayor de 30 centímetros.

La **circulación forzada** [38] es el caso de un sistema con electrocirculador, esto es, un sistema en el que es necesaria una bomba de circulación para mover el fluido caloportador.

Los factores positivos del sistema de circulación natural son de carácter económico y de simplicidad de instalación, porque los equipos termosifónicos no consumen energía eléctrica, ya que funcionan sin bomba. Esta característica ayuda a disminuir el consumo energético de la vivienda, pero tiene varios inconvenientes: en lo que a resistencia del tejado se refiere es problemático, ya que el depósito tiene que estar encima de los paneles; además, la circulación natural reduce el rendimiento del sistema solar.

Es por ello que se ha seleccionado el sistema por **circulación forzada**, de obligada elección cuando el intercambiador está a una altura inferior a los colectores, como en el caso de este proyecto. Este sistema requiere una inversión inicial más alta y utiliza energía para el funcionamiento de la bomba. Sin embargo, este uso de energía es compensado por una mayor producción de agua caliente en comparación con el sistema de circulación natural, ya que ofrece un rendimiento superior al circular el fluido caloportador de manera más rápida. A su vez, es posible colocar el acumulador en el interior del edificio para que así el tejado no tenga que soportar el peso del interacumulador (que puede ser de hasta 300 - 500 kg).

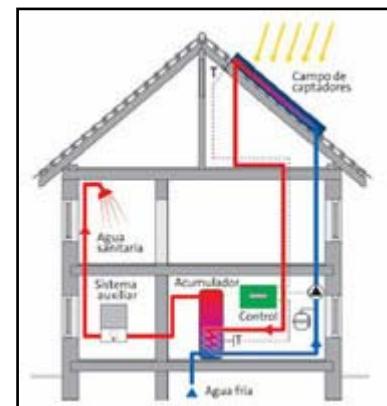


Ilustración 26 – Sistema solar de circulación forzada

Como dato adicional, decir que hay que incluir además una válvula antirretorno para evitar el posible efecto termosifónico nocturno.

10.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA

Esquemáticamente se puede definir una instalación solar como un sistema que absorbe calor del Sol, a través de unos captadores solares, y lo transmite al agua sanitaria, acumulada en un depósito, a través de un fluido caloportador que discurre por un serpentín colocado en dicho depósito. En síntesis este sistema está compuesto por [39]:

- colectores o captadores solares
- interacumulador de agua
- sistema hidráulico



En la instalación solar de circuito cerrado los colectores absorben el calor solar y lo concentran gracias al efecto invernadero creado en el interior de la placa, al aislamiento del medio exterior y a la capacidad de absorción de los cuerpos. En el interior de los colectores existe un circuito, denominado **círculo primario**, formado por un tubo por el cual discurre un fluido con anticongelante (generalmente agua con glicol). Este fluido alcanza temperaturas superiores a 100 °C en los colectores y se hace circular, en circuito cerrado y mediante una bomba de circulación, hasta el interior del interacumulador, donde el tubo adquiere forma de serpentín.

El fluido recorre el serpentín y el calor del fluido se transmite al agua sanitaria, que está contenida en el interacumulador. Una vez se ha calentado, el agua caliente sanitaria transcurrirá posteriormente por el **círculo secundario**, llegando bien al acumulador de agua auxiliar o bien a los puntos de consumo.

10.3. CAPTADORES

El sistema de captación estará formado por **5 captadores del tipo SKS 4.0-s de la marca BUDERUS [56]**, cuya disposición se describe a continuación:

Marca	Modelo	Disposición	Número total de captadores	Número total de baterías
BUDERUS	SKS 4.0-s	En paralelo	5	1 de 5 unidades

La orientación de los captadores es Sur, 187°. No existen en los alrededores obstáculos que puedan proyectar sombras sobre los captadores.

El sistema de captación se dispondrá **en forma de una fila o batería** constituida por 5 captadores. Dentro de la fila, los captadores se conectarán en paralelo. Se ha tenido en cuenta el número de captadores que se pueden conectar en paralelo atendiendo a las limitaciones especificadas por el fabricante. La colocación y disposición de los captadores sobre la cubierta queda detallada en el plano B-02.

Tal y como se puede comprobar en el plano B-01, se instalarán válvulas de cierre en la entrada y salida de las distintas baterías de captadores y entre las bombas, de manera que puedan utilizarse para aislamiento de estos componentes durante los trabajos de mantenimiento, sustitución, etc.

Se dispondrá de un sistema para asegurar igual recorrido hidráulico en todas las baterías de captadores. En general, se debe alcanzar un flujo equilibrado mediante el sistema de retorno invertido. Si esto no es posible, se puede controlar el flujo mediante mecanismos adecuados, como válvulas de equilibrado.

La entrada de fluido caloportador se efectuará por el extremo inferior del primer captador de la batería y la salida por el extremo superior del último.

La entrada tendrá una pendiente ascendente del 1% en el sentido de avance del fluido caloportador.

En el *ANEXO 7* se adjuntan las especificaciones y características de los captadores seleccionados así como sus curvas de rendimiento.

10.4. FLUIDO CALOPORTADOR

Para el proyecto que aquí compete, se ha elegido como fluido caloportador una **mezcla comercial de agua y propilenglicol al 31%**, con lo que se garantizará la protección de los captadores contra rotura por congelación hasta una temperatura de -16 °C (5°C menos que la temperatura mínima histórica), así como contra corrosiones e incrustaciones, ya que dicha mezcla no se degrada a altas temperaturas y cuenta con una composición no tóxica y aditivos estabilizantes.

Las principales características de este fluido caloportador serán las siguientes:

- Porcentaje en peso de propilenglicol: 31%.
- Densidad: 1051,12 Kg/m³.
- Calor específico: 3,622 KJ/kgK.
- Viscosidad (60°C): 3,12 mPa s.

Se deberán tomar las precauciones necesarias para prevenir posibles deterioros del fluido anticongelante cuando se alcanzan temperaturas muy altas. Estas precauciones deberán de ser comprobadas de acuerdo con *UNE-EN 12976-2*.

La instalación dispondrá de los sistemas necesarios para facilitar el llenado de la misma y asegurar que el anticongelante esté perfectamente mezclado. A su vez, es se dispondrá de un depósito auxiliar para reponer las posibles pérdidas de fluido caloportador en el circuito. No deberá utilizarse para reposición un fluido cuyas características sean incompatibles con el existente en el circuito. En cualquier caso, el sistema de llenado no permitirá las pérdidas de concentración producidas por fugas del circuito y resueltas mediante reposición con agua de la red. Todas estas consideraciones han sido tenidas en cuenta, y quedan reflejadas en el plano *B-01*.



10.5. SISTEMA DE ACUMULACIÓN SOLAR. INTERACUMULADOR

El volumen de acumulación se ha seleccionado cumpliendo con las especificaciones del apartado 3.3.3.1: *Generalidades*, perteneciente al *documento básico HE-4* del *Código Técnico de la Edificación*, que determina que se ha de cumplir que:

$$50 < (V/A) < 180$$

donde:

- A: Suma de las áreas de los captadores.
- V: Volumen de acumulación expresado en litros.

Con el dato de consumo diario de A.C.S. del edificio, calculado en el *ANEXO 5*, y teniendo en cuenta el cumplimiento de esta restricción, se ha elegido el siguiente interacumulador:

- Acumulador con serpentín, para producción de A.C.S., modelo *Logalux ER 750* marca *BUDERUS*, de 733 l de capacidad, altura 2010 mm, diámetro 950 mm, azul, con cuba de acero vitrificado, ánodo de magnesio, aislamiento térmico, termómetro, registro de inspección y toma para recirculación

Además, se cumple que la superficie útil de intercambio cumple el apartado 3.3.4: *Sistema de intercambio* del *documento básico HE-4* del *Código Técnico de la Edificación*, que prescribe que la relación entre la superficie útil de intercambio y la superficie total de captación no será inferior a 0,15.

10.6. CIRCUITO HIDRÁULICO

10.6.1. Tuberías

Las tuberías utilizadas para el circuito primario serán de cobre, de espesor 1 mm., seleccionando el diámetro de las tuberías de forma que la velocidad de circulación del fluido sea inferior a 2 m/s. y que la pérdida de carga unitaria en las mismas nunca sea superior a 40,00 mm.c.a/m. La disposición y los diámetros de las tuberías del circuito primario solar quedan descritos en los planos *B-01*, *B-02* y *B-03*.

El caudal de fluido portador se determinará de acuerdo con las especificaciones del fabricante, y tendrá un valor de 630 l/h.

10.6.2. Pérdidas de carga de la instalación

Deberán determinarse las pérdidas de carga en los siguientes componentes de la instalación:

- Captadores
- Tuberías (montantes y derivaciones a las baterías de captadores del circuito primario).
- Intercambiador

Las pérdidas de carga del circuito primario solar se calculan en el *ANEXO 7* y tienen un valor de 1,21 m.c.a..

10.6.3. Bomba de circulación

La bomba de circulación necesaria en el circuito primario se deberá dimensionar para una presión disponible igual a las pérdidas totales del circuito (tuberías, captadores e intercambiadores) de 1,21 m.c.a.. El caudal de circulación tendrá un valor de $0,63 \text{ m}^3/\text{h}$. La bomba se ha dimensionado y seleccionado en el *ANEXO 7*.

Los materiales constitutivos de la bomba en el circuito primario serán compatibles con la mezcla anticongelante.

10.6.4. Válvulas

La elección de las válvulas se realizará de acuerdo con la función que desempeñan y sus condiciones extremas de funcionamiento (presión y temperatura), siguiendo preferentemente los criterios siguientes:

- Para aislamiento: válvulas de esfera.
- Para equilibrado de circuitos: válvulas de asiento.
- Para vaciado: válvulas de esfera o de macho.
- Para llenado: válvulas de esfera.
- Para purga de aire: válvulas de esfera o de macho.
- Para seguridad: válvulas de resorte.
- Para retención: válvulas de disco de doble compuerta, o de clapeta.

Las válvulas de seguridad serán capaces de derivar la potencia máxima del captador o grupo de captadores de manera que en ningún caso se sobreponga la máxima presión de trabajo del captador o del sistema.

Como el sistema es por circulación forzada, se utilizarán válvulas antirretorno para evitar flujos inversos.

La disposición de las válvulas para el circuito primario solar está detallada en el plano *B-01*.

10.6.5. Vaso de expansión

Se utilizarán vasos de expansión cerrados con membrana. Los vasos de expansión cerrados cumplirán con el *Reglamento de Recipientes a Presión* y estarán debidamente timbrados. La tubería de conexión del vaso de expansión no se aislará térmicamente y tendrá el volumen suficiente para enfriar el fluido antes de alcanzar el vaso.

El cálculo y selección del vaso de expansión y de la tubería de expansión se ha realizado en el *ANEXO 7*.

10.6.6. Sistema de llenado

Los circuitos con vaso de expansión cerrado deberán incorporar un sistema de llenado, manual o automático, que permita llenar el circuito primario de fluido caloportador y mantenerlo presurizado.

El sistema de llenado del circuito primario solar será manual. La disposición del mismo se describe en el *PLANO B-01*.

10.7. AISLAMIENTOS

El material seleccionado para el aislamiento de las tuberías del circuito primario solar será coquilla de lana de vidrio protegida con emulsión asfáltica recubierta con pintura protectora para aislamiento de color blanco.

Los espesores de estos aislamientos se seleccionarán de acuerdo con lo indicado en el *ANEXO 10*.

10.8. ENERGÍA AUXILIAR

Para asegurar la continuidad en el abastecimiento de la demanda térmica en cualquier circunstancia, la instalación de energía solar contará con un sistema de energía auxiliar.

Este sistema de energía auxiliar debe tener suficiente potencia térmica para proporcionar la energía necesaria para la producción total de agua caliente sanitaria, en ausencia de radiación solar. El tipo de energía auxiliar utilizada es energía geotérmica mediante bombas de calor, tal y como se detalla en el apartado 9.

El sistema de aporte de energía auxiliar con acumulación o en línea dispondrá de un sistema de regulación de la temperatura de preparación.

11. INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN

11.1. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN

Sin olvidar que el objetivo principal del presente proyecto es diseñar las instalaciones que garanticen el confort adecuado a los usuarios del edificio con el mínimo coste energético, y al utilizar un sistema de generación de calor o frío geotérmico proveniente de una fuente renovable, se espera que se seleccione una **instalación de climatización eficiente** que no malgaste energía a la hora de climatizar las viviendas que componen el edificio. Por ello, **se selecciona el sistema de climatización por suelo radiante/refrescante**, que es el que menor consumo representa, el que mejor se adapta al tipo de energía que se utiliza (geotérmica) [40] debido a la moderada temperatura de impulsión del agua que necesita y el que más garantías ofrece de cara al confort de los usuarios del edificio. A continuación se desarrollan los argumentos que fundamentan esta selección.



Ilustración 27 – Ejemplo de suelo radiante

11.1.1. AHORRO DE ENERGÍA

El sistema de suelo radiante/refrescante es el sistema de climatización que menor consumo de energía representa, ya que es el sistema que más ahorro energético presenta [41].

Este ahorro subyace del hecho de que la sensación térmica de las personas no corresponde a la temperatura de aire, sino que equivale a la denominada *temperatura operativa*. De forma práctica, la temperatura operativa en el interior de los edificios equivale al valor promedio entre la temperatura del aire y la temperatura radiante media de las superficies interiores de la habitación (suelo, techo, paredes). Es decir, si en invierno se desea mantener una temperatura operativa o de confort determinada, se puede disminuir la temperatura del aire y aumentar la temperatura radiante media. En cambio, en verano, se puede aumentar la temperatura del aire y disminuir la temperatura refrescante media. Por esta razón, al ser menores las diferencias de temperaturas entre el aire interior y exterior del local, en invierno y verano, también son **menores las pérdidas ó ganancias energéticas** (por cerramientos, por ventilación y por infiltración) ya que éstas son proporcionales a dichas diferencias de temperaturas, por lo que se consigue un ahorro energético importante.

Otro factor significativo de ahorro energético lo constituyen la **disminución de pérdidas ó ganancias de calor en Sala de Máquinas y en las conducciones** hasta colectores, debido a que la temperatura del agua es más moderada durante todo el año.

Por otra parte, habrá que tener en cuenta que uno de los componentes del sistema de climatización por suelo radiante/refrescante es la plancha de aislamiento de poliestireno, elemento con el que no cuentan otros sistemas de climatización y con el que se contribuye a **mejorar el aislamiento térmico** del edificio.

11.1.2. EFICIENCIA DEL INTERCAMBIO DE CALOR

El sistema de suelo radiante se basa en un medio de intercambio de calor por radiación, que es muy **eficiente** al sólo necesitar que los cuerpos estén uno frente a otro y a distintas temperaturas, independientemente de que no estén en contacto ni exista un fluido intermedio, como sucede con los sistemas de aire que utilizan un medio de transporte de energía térmica poco eficiente. El intercambio energético por radiación depende de la cuarta potencia de las temperaturas absolutas de los cuerpos. Aumentar o disminuir en un grado de la temperatura de la superficie radiante significa un factor multiplicador que no se alcanzaría si se variara la temperatura del aire en un grado.

11.1.3. GARANTÍA DE CONFORT

El sistema de climatización por suelo radiante/refrescante es el **sistema de climatización más saludable**; tanto, que es recomendado por la Organización Mundial de la Salud (O.M.S.) [42]. Esto es debido a dos motivos. El primero está relacionado con el hecho de que la velocidad de migración de las capas de aire caliente hacia las zonas frías es proporcional a la diferencia de temperaturas del aire entre ambas zonas, caliente y fría. Una de las causas que generan este fenómeno es la presencia de cuerpos muy calientes, como los radiadores. En una vivienda con climatización de suelo radiante/refrescante, las diferencias de temperaturas entre las superficies (suelo, techo, paredes) y el aire son mínimas tanto en invierno como en verano, por lo que el movimiento de aire por convección es imperceptible. El segundo tiene que ver con la salubridad del aire interior: la ausencia de movimiento de aire produce menor movimiento de polvo y un entorno más higiénico y saludable, sinónimo de confort [43].

11.1.4. EMISIÓN Y ABSORCIÓN TÉRMICA UNIFORME

Otra ventaja que posee el sistema de climatización por suelo radiante/refrescante es que la unidad terminal del sistema es todo el suelo del área climatizada. Esto da lugar a que el **intercambio térmico sea uniforme** en toda la superficie, contraponiéndose al de "zonas calientes" y "zonas frías" que se obtiene con otros sistemas de climatización en los cuales existe un número limitado de unidades terminales. Al mismo tiempo, es un sistema versátil,

ya que la misma instalación puede utilizarse tanto para refrigerar como para calefactar, con lo que se ahorra el costo de una segunda instalación.

11.1.5. INCONVENIENTES

Uno de los inconvenientes del suelo radiante/refrescante es que la instalación suele ser costosa debido a que, para su colocación, se tiene que levantar todo el pavimento de una vivienda o local. Este no es el caso del presente proyecto, que trata un edificio de nueva construcción, por lo que es posible eliminar estos gastos e instalar el sistema de suelo radiante/refrescante directamente de obra.

Otro inconveniente del suelo radiante/refrescante son las **condensaciones** que se pudieran ocasionar en verano al alcanzar el aire húmedo en contacto con el suelo refrescante la temperatura de rocío. Para resolver este problema se puede actuar en 2 frentes: el primero consiste en instalar un deshumidificador de aire o un fancoil alimentado con el agua fría de climatización; el segundo consiste en limitar la temperatura mínima de impulsión para que el suelo no alcance la temperatura del punto de rocío.

Por todo lo que aquí se ha explicado, y una vez se ha especificado cómo se solventará el único inconveniente reseñable de este sistema de climatización, la selección del sistema de calefacción/refrigeración por suelo radiante/refrescante es inmediata.

11.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL SUELO RADIANTE/REFRESCANTE

El suelo radiante/refrescante es un sistema que está constituido por una red de tuberías uniformemente espaciada y enterrada bajo el pavimento por la que circula el agua de climatización (caliente en invierno y fría en verano), que previamente ha sido preparada en las bombas geotérmicas, y que cede o absorbe calor al recinto que climatiza. En el suelo radiante/refrescante es el cerramiento el que cede o absorbe calor, ya que el elemento terminal está incorporado en el suelo.



Ilustración 28 – Climatización por suelo radiante/refrescante

Esquemáticamente una instalación de suelo radiante consta de:

- Tubos de polietileno reticulado
- Capa de recubrimiento.
- Aislamiento térmico con tetones
- Dispositivos de regulación y control [44].

11.3. SUELO RADIANTE/REFRESCANTE

Como se ha comentado anteriormente, el sistema de calefacción y refrigeración elegido es por suelo radiante/refrescante, mediante tubos por los que circula el agua caliente/fría de climatización preparada en las bombas de calor geotérmicas. Se ha seleccionado el sistema de suelo radiante/refrescante de la marca **UPONOR IBERIA [58]**, que estará compuesto por un colector modular plástico para 12 circuitos de 1" de diámetro, alojado en un armario ubicado en el vestíbulo de cada vivienda, que se unirá a 12 circuitos (como máximo) de agua de climatización con **tuberías de polietileno reticulado (PE-X) con barrera de oxígeno (EVAL) y capa de protección de PE modificado, PRO EvalPEX, de 16 mm de diámetro**, que compondrán el suelo radiante/refrescante. Estas tuberías irán fijadas sobre un panel aislante moldeado de tetones, de 960x650 mm y 20 mm de espesor, de poliestireno expandido (EPS), que llevará encima un film de polietileno para evitar el ascenso por capilaridad de humedades. Encima de este film irá una capa de mortero autonivelante preparado con un aditivo especial; así se conseguirá un perfecto contacto entre el mortero y las tuberías, evitando con ello inclusiones de aire que podrían aumentar la resistencia térmica del sistema y dificultarían la transmisión de calor. Encima de la capa de mortero se colocarán las baldosas cerámicas que compondrán el suelo propiamente dicho de la vivienda.

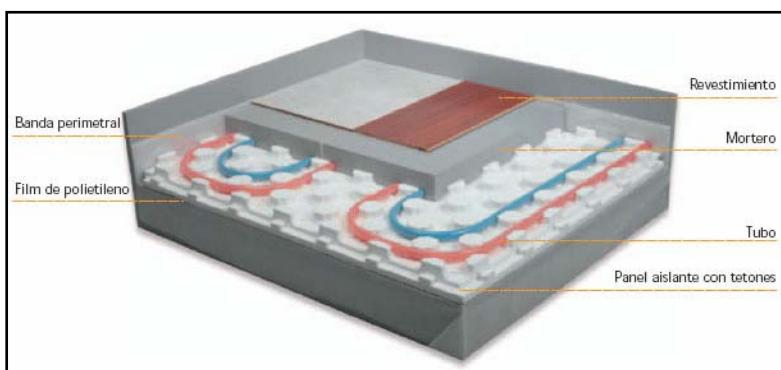


Ilustración 29 – Composición del suelo radiante/refrescante

11.3.1. LOCALIZACIÓN DE LOS COLECTORES

La instalación de suelo radiante dispondrá de un cuadro de colectores de suelo radiante/refrescante de impulsión y de retorno que comunicará el equipo productor con los circuitos de suelo radiante/refrescante.

Los colectores se dispondrán en los vestíbulos de entrada de cada vivienda, tal y como se puede comprobar en los planos A-05 y A-06.

El número de circuitos que alimentará cada armario de colectores así como la localización de estos circuitos están también incluidos en el **ANEXO 8** y en los planos A-05 y A-06.



11.3.2. LONGITUD, TRAZADO Y SEPARACIÓN DE LOS CIRCUITOS DE SUELO RADIANTE

La longitud de los circuitos de suelo radiante se ha calculado, mediante una tabla *Excel* de elaboración propia, en el *ANEXO 8*; teniendo siempre en cuenta que la longitud máxima para cada circuito no podrá ser superior a 130 m. La separación entre tuberías se ha considerado constante e igual a 16 cm. El trazado de los circuitos, que puede ser en espiral o en doble serpentín, se ha seleccionado según las necesidades de los recintos a climatizar, tal y como se detalla en el *ANEXO 8*.

11.3.3. TEMPERATURAS DE DISEÑO

Las temperaturas de diseño consideradas para el cálculo del suelo radiante se recogen en la tabla que se muestra a continuación:

TABLA DE TEMPERATURAS (°C)		CALEFACCIÓN	REFRIGERACIÓN
Temperatura del recinto		21	24
Temperatura del agua de climatización en impulsión		40	15
Salto térmico medio del agua de climatización		5	5
Temperatura máxima de la superficie del suelo	Zona de permanencia (ocupada)	29	-
	Cuartos de baño	33	-
	Zona periférica	35	-
Temperatura mínima de la superficie del suelo	Zona de permanencia (ocupada)	-	20
	Cuartos de baño	-	
	Zona periférica	-	

Tabla 3 – Temperaturas de diseño para suelo radiante/refrescante

El cálculo de la temperatura de retorno se ha realizado con el programa *CYPE* en su módulo de *Climatización*. Este cálculo se adjunta en el *ANEXO 8*.

11.4. FANCOILS

Tal y como se ha comentado antes, y sólo para el caso de refrigeración, el suelo refrescante funcionará con la ayuda de fancoils ubicados en el salón de cada vivienda, con el objetivo de controlar la humedad y dar apoyo en verano para contrarrestar la carga de refrigeración eliminando así el riesgo de formación de condensaciones en el suelo. Los fancoils estarán alimentados con el mismo agua fría de climatización que va a los circuitos de suelo radiante.

Los fancoils serán tipo mural, **modelo FPW 1 de la marca comercial HITECSA**, con sistema de dos tubos, potencia frigorífica total nominal de 2,04 kW (temperatura húmeda de entrada del aire: 19 °C; temperatura de entrada del agua: 15 °C, salto térmico: 5 °C), de 3 velocidades, caudal de agua nominal de 0,351 m³/h, caudal de aire nominal de 440 m³/h y potencia sonora nominal de 54 dBA.

11.5. DEPÓSITO DE INERCIA

Como el generador es una bomba de calor geotérmica, se usará un pequeño depósito de inercia para evitar que las maniobras de arranque y paro del compresor de la máquina sean muy continuadas, debido al pequeño salto térmico entre la ida y el retorno del agua. De este modo, el depósito de inercia acumulará el agua de climatización proveniente del circuito secundario de las bombas de calor geotérmicas antes de que esta sea distribuida por la instalación hacia las unidades terminales de suelo radiante/refrescante. Con este depósito, se disminuirán los desequilibrios hidráulicos entre las bombas de calor geotérmicas y los circuitos de suelo radiante, asegurando un caudal constante hacia las mismas.

Se ha seleccionado un depósito de inercia de la marca *Vaillant allSTOR VPS 500/2*, con un volumen de 500 litros. El cálculo del volumen del depósito de inercia se incluye en el *ANEXO 8*.

11.6. CAUDAL DE AGUA DE CLIMATIZACIÓN

El caudal que alimentará los ramales que irán a las viviendas para su climatización se ha calculado en el *ANEXO 8*, y sus valores son los siguientes: para el ramal de las viviendas A, B y C de las plantas 1^a y 2^a será de 7,55 m³/h y el caudal que alimentará el ramal de las viviendas D y E de las plantas 1^a y 2^a será de 3,88 m³/h.



11.7. CIRCUITO HIDRÁULICO

11.7.1. Tuberías

Las tuberías utilizadas para el circuito secundario de climatización tendrán las siguientes características: polietileno reticulado para el sistema de distribución del agua de climatización por el interior del edificio y para el suelo radiante/refrescante; tubo multicapa de polietileno resistente a la temperatura/aluminio/polietileno resistente a la temperatura para el sistema de distribución del agua de climatización que esté en contacto con el aire el exterior.

El dimensionamiento de las tuberías para el sistema de distribución de climatización se realiza teniendo en cuenta que el caudal que alimentará el ramal de las viviendas A, B y C de las plantas 1^a y 2^a es de 7,55 m³/h y el que alimentará el ramal de las viviendas D y E de las plantas 1^a y 2^a es de 3,88 m³/h, considerando como material, para el cálculo de la rugosidad, polietileno reticulado (PE-X) con barrera de oxígeno. La distribución y los diámetros de las tuberías del circuito de climatización quedan descritos en los planos A-03, A-04, A-05 y A-06.

El dimensionamiento de las tuberías del circuito del suelo radiante/refrescante se realiza tomando una velocidad máxima de 0,5 m/s y considerando como material, para el cálculo de la rugosidad, polietileno reticulado (PE-X) con barrera de oxígeno.

11.7.2. Pérdidas de carga de la instalación

Deberán determinarse las pérdidas de carga en los siguientes componentes de la instalación:

- Tuberías
- Circuitos de suelo radiante
- Intercambiador de la bomba de calor geotérmica

Las pérdidas de carga del circuito secundario de climatización se calculan en el ANEXO 8, y tienen un valor de 12,13 m.c.a para el ramal que alimenta las viviendas A, B y C de las plantas 1^a y 2^a, y de 10,82 m.c.a. para el ramal de las viviendas D y E de las plantas 1^a y 2^a.

La pérdida de presión del tramo que comunica el intercambiador de la bomba de calor geotérmica con el depósito de inercia tiene un valor de 0,72 m.c.a..



11.7.3. Bomba de circulación

Las bombas de circulación se dimensionan tomando, por un lado, la pérdida de carga más desfavorable que resultará de la suma de las pérdidas de presión en los ramales de distribución hasta cada vivienda y la del circuito de suelo radiante más desfavorable; y tomando, por otro lado, la suma de caudales de los circuitos a los que dará servicio cada bomba.

Para la bomba de circulación que alimentará el ramal de las viviendas A, B y C de las plantas 1^a y 2^a, el caudal requerido será de 7,55 m³/h y la presión requerida será de 12,13 m.c.a.. Para la bomba de circulación que alimentará el ramal de las viviendas D y E de las plantas 1^a y 2^a, el caudal requerido será de 3,88 m³/h y la presión requerida será de 10,82 m.c.a.. Para la bomba de circulación que alimentará el depósito de inercia, el caudal requerido será de 3,726 m³/h y la pérdida de carga tendrá un valor de 0,72 m.c.a.. Todas las bombas se han dimensionado y seleccionado en el ANEXO 8.

11.7.4. Válvulas

La elección de las válvulas se realizará de acuerdo con la función que desempeñan y sus condiciones extremas de funcionamiento (presión y temperatura), siguiendo preferentemente los criterios siguientes:

- Para aislamiento: válvulas de esfera.
- Para equilibrado de circuitos: válvulas de asiento.
- Para vaciado: válvulas de esfera o de macho.
- Para llenado: válvulas de esfera.
- Para purga de aire: válvulas de esfera o de macho.
- Para seguridad: válvulas de resorte.
- Para retención: válvulas de disco de doble compuerta, o de clapeta.

La disposición de las válvulas para el circuito de climatización está detallada en el *PLANO A-01*.

11.7.5. Vaso de expansión

Se utilizarán vasos de expansión cerrados con membrana. Los vasos de expansión cerrados cumplirán con el *Reglamento de Recipientes a Presión* y estarán debidamente timbrados. La tubería de conexión del vaso de expansión no se aislará térmicamente y tendrá el volumen suficiente para enfriar el fluido antes de alcanzar el vaso.

El cálculo y selección del vaso de expansión y de la tubería de expansión se ha realizado en el ANEXO 8.



11.8. AISLAMIENTOS

El material que se ha seleccionado para el aislamiento de las tuberías del circuito primario geotérmico será coquilla flexible de espuma elastomérica tipo ARMAFLEX SH o similar. Todas las juntas estarán pegadas con adhesivo 520 ARMAFLEX o similar y encintadas con cinta adhesiva.

Los espesores de estos aislamientos se seleccionarán de acuerdo con lo indicado en el **ANEXO 10**.



12. INSTALACIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA

12.1. CONSIDERACIONES SOBRE AGUA CALIENTE SANITARIA

Los sistemas de preparación de agua caliente sanitaria (A.C.S.) se dividen en tres grandes grupos:

- **Sistemas instantáneos**, en los que el agua se prepara de forma instantánea. Este sistema produce el caudal de agua que en cada instante se precisa. Cuando la demanda de los usuarios es la máxima, el generador de calor desarrolla, evidentemente, su máxima potencia.
- **Sistemas semi-instantáneos**, en los que el sistema está dotado de un pequeño volumen de acumulación. El dimensionamiento de estos sistemas se hace, generalmente, para satisfacer la demanda durante un período punta de unos minutos determinados dentro del período de máxima demanda. El sistema está constituido, esencialmente, por un sistema generador, un depósito acumulador y una bomba de circulación del agua entre el sistema generador y el acumulador.
- **Sistemas de gran acumulación** (o simplemente de acumulación), en los que el sistema está dotado de un gran volumen de acumulación. Son prácticamente iguales que los anteriores, solo que el volumen de acumulación es mucho mayor.

12.2. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE PREPARACIÓN DE A.C.S.

Es de entender que un sistema de preparación es tanto más flexible y seguro cuanto más elevado es su volumen de acumulación. En otras palabras: los sistemas instantáneos, especialmente si son de tipo centralizado como es el caso de este proyecto, entrañan el riesgo de ser insuficientes durante los períodos de máxima demanda de los usuarios.

Por ello, y con el objetivo de **garantizar el confort de los usuarios del edificio** en todo momento y ser capaces de poder suministrar el agua requerida durante los períodos de máxima demanda, se descarta el sistema de preparación instantánea.

Como bien se comenta en el *ANEXO 5*, la producción de ACS está determinada por el binomio “*potencia/capacidad de la acumulación*”, donde la capacidad de acumulación suele ser la variable a elegir. Para dimensionar correctamente la instalación de producción de ACS debe considerarse que la energía aportada (producción más acumulación) ha de igualar a la consumida en la punta; por ello, si los volúmenes de acumulación son menores, las potencias deberán ser mayores (sistemas de semi-acumulación, o semi-instantáneos); y si los volúmenes de acumulación son mayores; las potencias podrán ser inferiores (sistemas de acumulación) [45].

Entre los objetivos de este proyecto se encuentra el de velar por la eficiencia energética en todo momento, **evitando gastos energéticos innecesarios**. Por un lado, es de lógica que si nuestro volumen de acumulación es grande, la potencia instantánea requerida sea pequeña. Por otro lado, hay que tener en cuenta que, aunque esté aislado correctamente, un volumen mayor de acumulación de agua caliente derrochará más energía en forma de pérdidas de calor que un volumen más pequeño. Por este motivo, y con el fin de no gastar más energía de la que se necesita, **se selecciona un sistema de preparación semi-instantánea con un volumen de acumulación de 300 litros**, tal y como se detalla en el ANEXO 5; con lo que serán necesarios 12,33 kW de generación.

12.3. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE PREPARACIÓN DE A.C.S.

El sistema principal de producción de A.C.S., tal y como se comenta en el apartado 10, es el sistema de energía solar térmica. Ahora bien, este sistema ha de estar apoyado por un sistema auxiliar, que provea de agua caliente al edificio cuando la producción de A.C.S. mediante energía solar no sea suficiente, que es el citado sistema de preparación semi-instantánea, en el apartado anterior seleccionado. Este sistema auxiliar lo compondrán:

- 2 bombas de calor geotérmicas
- Depósito auxiliar (depósito del sistema de preparación semi-instantánea)
- Sistema hidráulico

El funcionamiento será el siguiente: el sistema de energía solar térmica producirá el agua caliente sanitaria para el edificio, trabajando contra el interacumulador solar, tal y como se detalla en el apartado 10. Este interacumulador estará conectado con la entrada del depósito auxiliar del sistema de preparación semi-instantánea. En el caso de que el sistema de energía solar térmica no pueda suministrar el agua caliente sanitaria requerida, entrarán en funcionamiento las bombas de calor geotérmicas, que trabajarán contra el depósito auxiliar.

Si la temperatura del agua en el interacumulador solar es superior a la del depósito de consumo, el agua saldrá directamente a la red de distribución de A.C.S; si fuera inferior se calentaría hasta la temperatura adecuada en los intercambiadores de placas de producción instantánea situados en las bombas de calor geotérmicas.

El sistema de calentamiento auxiliar de A.C.S. podrá funcionar independientemente de que lo haga el solar o no.

En el esquema hidráulico de A.C.S. contenido en el *PLANO B-01* se puede comprobar todo lo descrito en este apartado.



12.4. DEPÓSITO DE ACUMULACIÓN AUXILIAR

El depósito de acumulación auxiliar, esto es, el depósito del sistema de preparación semi-instantánea, tendrá un **volumen de acumulación de 300 litros**, tal y como se ha comentado en apartados anteriores. El depósito seleccionado se describe a continuación:

- Acumulador con serpentín, para producción de A.C.S., modelo *Logalux SU 300* marca *BUDERUS*, de 300 l de capacidad, altura 1465 mm, diámetro 672 mm, azul, con cuba de acero vitrificado, ánodo de magnesio, aislamiento, registro de inspección, toma para recirculación y resistencia eléctrica blindada de 1,5 kW para el control de la legionela.

Se ha seleccionado un depósito acumulador con resistencia eléctrica con el objetivo de garantizar las condiciones higiénico-sanitarias para **la prevención y control de la legionelosis** que establece en el *Real Decreto 865/2003 de 4 de julio*. Esta resistencia eléctrica elevará la temperatura del agua hasta los 70 °C y la mantendrá en ese valor durante al menos 2 horas, limpiando y desinfectando el circuito.

12.5. CIRCUITO HIDRÁULICO

12.5.1. Tuberías

Tanto las tuberías utilizadas para el circuito de distribución de agua caliente sanitaria como las del circuito de retorno serán de polietileno reticulado.

El dimensionamiento de las tuberías de A.C.S. se ha realizado en el *ANEXO 9*. La disposición y los diámetros de las tuberías de distribución de A.C.S. quedan descritos en los planos *B-01, B-03, B-04, B-05* y *B-06*. La distribución y los diámetros de las tuberías del circuito de retorno de agua caliente sanitaria quedan especificados también en estos planos.

12.5.2. Pérdidas de carga de la instalación

Deberán determinarse las pérdidas de carga en los siguientes componentes de la instalación:

- Tubería hasta el depósito de acumulación auxiliar
- Intercambiador de la bomba de calor geotérmica
- Tuberías de retorno de agua caliente

Las pérdidas de carga del circuito de recirculación de agua entre el intercambiador de la bomba geotérmica y el depósito de acumulación auxiliar se calculan en el *ANEXO 9*, y tienen un valor de 3,4 m.c.a.

Las pérdidas de carga del circuito de retorno se calculan en el *ANEXO 9*, y tienen un valor de 0,74 m.c.a.

12.5.3. Bomba de circulación

Las bombas de circulación se dimensionan tomando el valor de los caudales calculados y la pérdida de presión que se tendrá que vencer en cada circuito. Para la bomba de carga que alimentará el depósito auxiliar de A.C.S., el caudal requerido será de $4,71 \text{ m}^3/\text{h}$ y la pérdida de carga tendrá un valor de 3,4 m.c.a.. Para la bomba de recirculación del circuito de retorno, el caudal requerido será de $0,47 \text{ m}^3/\text{h}$ y la pérdida de carga tendrá un valor de 0,74 m.c.a.. Todas las bombas se han dimensionado y seleccionado en el *ANEXO 9*.

12.5.4. Válvulas

La elección de las válvulas se realizará de acuerdo con la función que desempeñan y sus condiciones extremas de funcionamiento (presión y temperatura), siguiendo preferentemente los criterios siguientes:

- Para aislamiento: válvulas de esfera.
- Para equilibrado de circuitos: válvulas de asiento.
- Para vaciado: válvulas de esfera o de macho.
- Para llenado: válvulas de esfera.
- Para purga de aire: válvulas de esfera o de macho.
- Para seguridad: válvulas de resorte.
- Para retención: válvulas de disco de doble compuerta, o de clapeta.

La disposición de las válvulas para el circuito de distribución de A.C.S. está detallada en el *PLANO B-01*.

12.5.5. Vaso de expansión

Se utilizarán vasos de expansión cerrados con membrana. Los vasos de expansión cerrados cumplirán con el *Reglamento de Recipientes a Presión* y estarán debidamente timbrados. La tubería de conexión del vaso de expansión no se aislará térmicamente y tendrá el volumen suficiente para enfriar el fluido antes de alcanzar el vaso.

Sólo será necesario instalar un vaso de expansión en el circuito entre el intercambiador de la bomba de calor geotérmica y el depósito de acumulación auxiliar, pues cuando no haya consumo de agua caliente funcionará como un circuito cerrado. El cálculo y selección del vaso de expansión y de la tubería de expansión se ha realizado en el *ANEXO 9*.



12.6. AISLAMIENTOS

El material que se ha seleccionado para el aislamiento de las tuberías de distribución de A.C.S. será coquilla flexible de espuma elastomérica tipo ARMAFLEX SH o similar. Todas las juntas estarán pegadas con adhesivo 520 ARMAFLEX o similar y encintadas con cinta adhesiva.

Los espesores de estos aislamientos se seleccionarán de acuerdo con lo indicado en el **ANEXO 10**.



13. SISTEMA DE REGULACIÓN Y CONTROL

13.1. SISTEMA DE REGULACIÓN Y CONTROL DEL SISTEMA SOLAR

El sistema de control asegura el correcto funcionamiento de la instalación, facilitando un buen aprovechamiento de la energía solar captada y asegurando el uso adecuado de la energía auxiliar. Se ha seleccionado una centralita de control para sistema de captación solar térmica *Logamatic SC10*, de la marca comercial *BUDERUS*, con sondas de temperatura con las siguientes funciones:

- Control de la temperatura del captador solar
- Control y regulación de la temperatura del acumulador solar
- Control y regulación del régimen de funcionamiento de la bomba de circulación en función de la diferencia de temperaturas entre captador y acumulador.

El sistema de regulación y control tiene también la finalidad de la activación y desactivación del sistema antiheladas.

El rango de temperatura ambiente admisible para el funcionamiento del sistema de control será, como mínimo, el siguiente: -10°C a 50°C.

Los sensores de temperatura soportarán los valores máximos previstos para la temperatura en el lugar en que se ubiquen. Deberán soportar, sin alteraciones superiores a 1°C, una temperatura de hasta 140°C (instalaciones de ACS).

La localización e instalación de los sensores de temperatura deberá asegurar un buen contacto térmico con la zona de medición. Para conseguirlo, en el caso de sensores de inmersión, se instalarán en contracorriente con el fluido.

Los sensores de temperatura deberán estar aislados contra la influencia de las condiciones ambientales que les rodean.

La ubicación de las sondas se realiza de forma que éstas miden exactamente las temperaturas que se desea controlar, instalándose los sensores en el interior de vainas y evitándose las tuberías separadas de la salida de los captadores y las zonas de estancamiento en los depósitos.

Las sondas serán, preferentemente, de inmersión. Se tendrá especial cuidado en asegurar una adecuada unión entre las sondas por contacto y la superficie metálica.

En el plano *B-01* se puede apreciar la colocación de las sondas del sistema de regulación solar.



13.2. SISTEMA DE REGULACIÓN Y CONTROL DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN Y A.C.S.

La temperatura del sistema de climatización y la de producción, almacenamiento y distribución de A.C.S. se controlará mediante un equipo de regulación marca *SEDICAL* modelo *MCR-50 PF* compuesto por un regulador MCR 50 PF y un convertidor MCR-50-SD6 [54].

Para climatización, este equipo estará complementado por los siguientes elementos:

- 1 Sonda de temperatura exterior T7416 A 1022 con rango de trabajo -40/+70°C
- 1 Sonda de temperatura de inmersión en depósito de inercia VF 20T con rango -25/+130°C
- 2 Sondas de temperatura de impulsión VF 20T rango -25/+130°C
- 2 Válvulas motorizadas de 3 vías situadas en los ramales de impulsión del agua de climatización a las viviendas
- 2 Sondas de temperatura de impulsión VF 20T rango -25/+130 °C dispuestas en cada ramal de impulsión a las viviendas
- 1 Sonda de temperatura de retorno VF 20T rango -25/+130 °C dispuesta en el retorno general entre el depósito de inercia y las bombas de calor geotérmicas
- 1 Termostato doble limitador de inmersión TX023-301+R10 rango 15(40)°C para limitar la temperatura máxima y mínima de impulsión del agua de climatización que se impulsa a las viviendas

Para que el sistema pueda controlar la temperatura de producción, acumulación y distribución de A.C.S., será necesario incorporar los siguientes elementos:

- 1 Sonda de temperatura de inmersión en depósito acumulador de A.C.S., modelo VF 20T con rango de trabajo -25/+130°C
- 1 Sonda de temperatura de impulsión de A.C.S. a viviendas VF 20T de -25/+130°C
- 1 Válvula motorizada de 3 vías con señal 0-10 V, para mezcla de A.C.S./A.F.S.

13.2.1. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE REGULACIÓN DE CLIMATIZACIÓN

El funcionamiento del sistema de regulación de temperatura para climatización es el siguiente: a través de la sonda de temperatura exterior, el controlador recibe información sobre la temperatura exterior reinante en cada momento y la evolución de la misma a lo largo del tiempo. Con la curva seleccionada en el controlador y la temperatura de referencia fijada en el mismo, el sistema modifica dentro de un rango, según las necesidades, la temperatura del agua de climatización a las viviendas, mediante las válvulas motorizadas de 3 vías situadas en las tuberías de impulsión que mezclan en proporción variable el agua de impulsión/retorno. Las sondas de temperatura de impulsión situadas aguas abajo de las mismas proporcionan información al controlador, que modifica la posición del actuador de la válvula mezcladora, modificando la proporción de mezcla impulsión/retorno según convenga. Con esta actuación, el sistema se anticipa a la evolución de la temperatura exterior, evitando el exceso de calor/frío en las viviendas como consecuencia de la elevada inercia térmica del suelo radiante/refrescante.

Para mantener constante la temperatura del agua de climatización del depósito de inercia, el controlador recibe información de la sonda de inmersión dispuesta en dicho depósito y actúa sobre las bombas de calor geotérmicas, poniéndolas en funcionamiento escalonadamente según la evolución de la demanda, por la información suministrada por la sonda de temperatura de retorno situada en el circuito de retorno que transcurre del depósito de inercia a las bombas de calor geotérmicas.

La temperatura de salida del agua de climatización de las bombas de calor geotérmicas, tanto en el modo de calefacción como en el de refrigeración, es de temperatura constante (40°C y 15°C) y se controla mediante el sistema de regulación interno de las propias máquinas.

Cuando el sistema de regulación desconecta del sistema a una o ambas bombas de calor geotérmicas, estas quedarán hidráulicamente aisladas del depósito de inercia mediante las válvulas motorizadas de dos vías dispuestas al efecto, gobernadas por el propio sistema de regulación.

El control del sistema de regulación actúa también sobre las bombas de impulsión de los circuitos de climatización de las viviendas. Estas bombas de impulsión han sido elegidas de caudal variable, gracias al correspondiente variador de frecuencia que llevan incorporado, con el objetivo de adaptar el flujo circulante al número de circuitos que estén utilizando en cada momento el sistema de climatización.

Asimismo, las bombas de calor geotérmicas poseen un dispositivo de regulación interno para el circuito primario geotérmico que controla la temperatura del fluido geotérmico a la entrada de la bomba de calor, desconectándola cuando los valores estén fuera del rango $-5/+20^{\circ}\text{C}$. Este mismo dispositivo actúa también sobre las bombas de impulsión del circuito primario geotérmico, que llevan incorporado variador de frecuencia, modificando el caudal

de circulación del fluido para mantener la temperatura del mismo dentro del campo de trabajo de la bomba de calor geotérmica.

13.2.2. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE REGULACIÓN DE A.C.S.

Las bombas de calor geotérmicas llevan un sistema de producción instantánea de agua caliente sanitaria mediante intercambiador de placas. A través de la válvula motorizada de 3 vías dispuesta en el circuito frigorífico, la bomba de calor geotérmica da preferencia a la producción de A.C.S.. Cuando la sonda dispuesta en el depósito acumulador de A.C.S. detecta que la temperatura del agua está por debajo del valor prefijado, el sistema de regulación actúa poniendo en funcionamiento tanto la bomba de carga del circuito de A.C.S. y como la bomba de calor geotérmica, hasta que nuevamente se alcanza la temperatura de referencia en el depósito acumulador de A.C.S..

El sistema de regulación también controla la temperatura de distribución del agua caliente sanitaria a las viviendas mediante una sonda de inmersión ubicada en la tubería de salida del agua del depósito acumulador hacia las viviendas, que envía una señal al sistema de regulación para que este actúe sobre la válvula mezcladora de 3 vías A.C.S./A.F.S., posicionándola de modo que la temperatura del A.C.S. de distribución no sobrepase la temperatura deseada.

Este mismo sistema actuará sobre la resistencia eléctrica dispuesta en el depósito acumulador de A.C.S. para elevar la temperatura hasta los 70°C, evitando así la posible aparición de legionela. Esta operación se realizará con una periodicidad diaria durante 2 horas, entre las 2 y las 4 h de la madrugada.

13.2.3. REGULACIÓN DE TEMPERATURA EN LAS VIVIENDAS

Cada vivienda posee un control individual de temperatura mediante termostatos de temperatura ambiente para calor y frío que actúan sobre los cabezales eléctricos de las válvulas situadas en el colector de retorno de cada vivienda.

Para el edificio en estudio, cada vivienda dispondrá de 3 termostatos, ubicados en el salón y en cada una de los dormitorios principales. El principio de funcionamiento será el siguiente: la electroválvula de 3 vías de tipo “*todo-nada*” dispuesta en la centralización de contadores permitirá el paso de agua de climatización a la vivienda si el interruptor eléctrico de accionamiento manual situado en el circuito eléctrico de alimentación a la bobina de la electroválvula está cerrado y a su vez alguno de los tres termostatos de la vivienda demanda suministro de calor/frío.

El termostato situado en el salón, cuando actúe en modo de frío, pondrá en funcionamiento el fancoil de esta dependencia ayudando al suelo refrescante a



contrarrestar la carga térmica de refrigeración, manteniendo la humedad relativa dentro del margen de seguridad para evitar la formación de condensados en el suelo de la vivienda.

Para una temperatura de impulsión mínima de 15°C, la temperatura del suelo será de 20°C, por lo que para alcanzar el punto de rocío en el suelo, la humedad relativa del ambiente deberá ser del 70% para una temperatura interior de 24°C. Teniendo en cuenta la humedad relativa existente en Zaragoza para los meses de verano, que es del 40%, resulta improbable la aparición de fenómenos de condensaciones en el suelo.

No obstante, y tal y como se ha indicado anteriormente, como sistema de seguridad se instalará un termostato doble que limitará la temperatura de impulsión en invierno a 40°C y en verano a 15°C.

El consumo energético de cada vivienda se controlará mediante un contador calórico situado en el armario de centralización de contadores.



14. DILATACIONES

Dado que en la ejecución de la instalación se han utilizado tuberías de material plástico, que poseen un elevado coeficiente de dilatación lineal, la instalación de las mismas se ha realizado disponiéndolas sobre **bandejas enrejilladas en los trazados horizontales**, y en **soportes con guía deslizante en los tramos verticales**, permitiendo en ambos casos la libre contracción y dilatación de las mismas. La absorción de la dilatación se ve favorecida por los continuos cambios de dirección de las tuberías, necesarios para unir la Sala de Máquinas con las centralizaciones de contadores de las viviendas. Al ser la temperatura máxima del agua de climatización de 40°C y de 15°C la mínima, los valores de aumento/disminución de longitud serán menores que para un sistema de distribución de calefacción convencional, con temperaturas del agua de calefacción hasta 80°C.

En lo referente a las tuberías de agua caliente sanitaria, se aplicará el mismo criterio que para la instalación de tuberías de climatización.

En las tuberías de cobre del circuito primario de energía solar se dispondrán liras de dilatación en los tramos rectos de longitud mayor a 5 m.

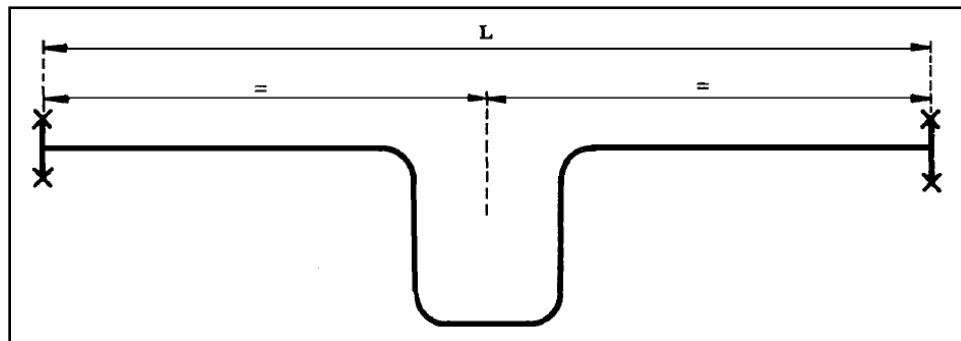


Ilustración 30 – Lira de dilatación para tubería de cobre



15. SALA DE MÁQUINAS

El *Reglamento de Instalaciones térmicas en los Edificios*, en su *Instrucción Técnica IT 1.3.4.1.2.1* define la sala de máquinas como “*local técnico donde se alojan los equipos de producción de frío o calor y otros equipos auxiliares y accesorios de la instalación térmica, con potencia superior a 70 kW*”.

En nuestro caso, la potencia total de las bombas de calor geotérmicas para el funcionamiento en modo de calor es de **44.2 kW** y de **44.8 kW** para frío, por lo que no se alcanza la precitada potencia y, en consecuencia, el local técnico donde se sitúan no tendrá la consideración, en términos de normativa, de sala de máquinas; por lo que no será de aplicación lo señalado en la *Instrucción Técnica IT 1.3.4.1.2.2*.



16. SISTEMAS EMPLEADOS PARA EL AHORRO DE ENERGÍA

Los sistemas utilizados para el ahorro de energía son principalmente los siguientes:

- Sistema de producción y acumulación de A.C.S. por calentamiento mediante radiación solar, ahorrando un 63% de consumo de energía al aprovechar un recurso natural energéticamente gratuito.
- Sistema de producción y acumulación de A.C.S. por calentamiento mediante bombas de calor geotérmicas, que aprovechan la temperatura constante que el suelo tiene durante todo el año para producir A.C.S..
- Sistema de generación de A.C.S. semi-instantáneo. Por un lado, al disponer de depósito acumulador asegura el abastecimiento para el consumo punta. Por otro lado, la producción instantánea permite acumular menos cantidad de agua, con lo que la superficie de los depósitos es menor y, por tanto, las pérdidas de calor también serán menores.
- Los aparatos, equipos y conducciones de las instalaciones de A.C.S. para usos sanitarios estarán aislados térmicamente con el fin de evitar consumos energéticos superfluos y conseguir que los fluidos portadores lleguen a las unidades terminales con temperaturas próximas a las salidas de los equipos de producción, así como para poder cumplir las condiciones de seguridad para evitar contactos accidentales con superficies calientes.
- Sistema de climatización mediante bombas de calor geotérmicas, tanto para calefacción como para refrigeración, que aprovechan la temperatura constante que el suelo tiene durante todo el año para climatizar el edificio objeto. Este sistema de climatización está diseñado para funcionar en paralelo con regulación en cascada, que permite adaptar la entrega de potencia al perfil de la demanda térmica.
- Sistema de regulación y control central para el sistema de climatización mediante central de regulación con sonda de temperatura exterior y válvulas de tres vías, que permite impulsar el agua de climatización a las viviendas a la temperatura adecuada en función de la temperatura exterior.
- Control de la temperatura individual del sistema de climatización mediante termostatos dispuestos en cada vivienda.
- Los aparatos, equipos y conducciones de las instalaciones de climatización estarán aislados térmicamente con el fin de evitar consumos energéticos superfluos y conseguir que los fluidos caloportadores lleguen a las unidades terminales con temperaturas próximas a las salidas de los equipos de producción, así como para



poder cumplir las condiciones de seguridad para evitar contactos accidentales con superficies calientes.

- La consideración de la bomba de calor con fuente de disipación geotérmica es en sí un sistema de ahorro de energía, ya que va intrínsecamente ligada a los elevados coeficientes de eficiencia energética de estos equipos, en el sentido de que la producción de frío o calor que aportan supera ampliamente la energía primaria que consumen en su funcionamiento. Además, gracias al aprovechamiento del ciclo frigorífico y a la temperatura uniforme del foco de intercambio (la corteza terrestre), es posible un reducido consumo eléctrico.
- Cabe decir que, aunque no sea un sistema activo, el primer paso para conseguir un ahorro de energía en el edificio de este proyecto, que se ha de proyectar energéticamente eficiente, se consigue al modificar y mejorar la calidad de los aislamientos del edificio, tal y como se hizo en apartados anteriores.

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

El ahorro de energía y una buena certificación energética son dos conceptos que van de la mano. Por ello, y con el objetivo de cumplir el *Real Decreto 47/2007* que entró en vigor en Noviembre de 2007 marcando la obligatoriedad de la Certificación Energética para edificios de nueva construcción, se ha analizado el edificio con el programa CALENER VYP [65], dando como resultado una **calificación energética de clase “C”**. con un indicador 11,8 kg de CO₂/m², valor muy cercano al límite impuesto para la clase “B”, fijado en 11,1 kg de CO₂/m².

Un estudio pormenorizado de las emisiones de CO₂ se incluye en el apartado 18 de esta misma *MEMORIA*.

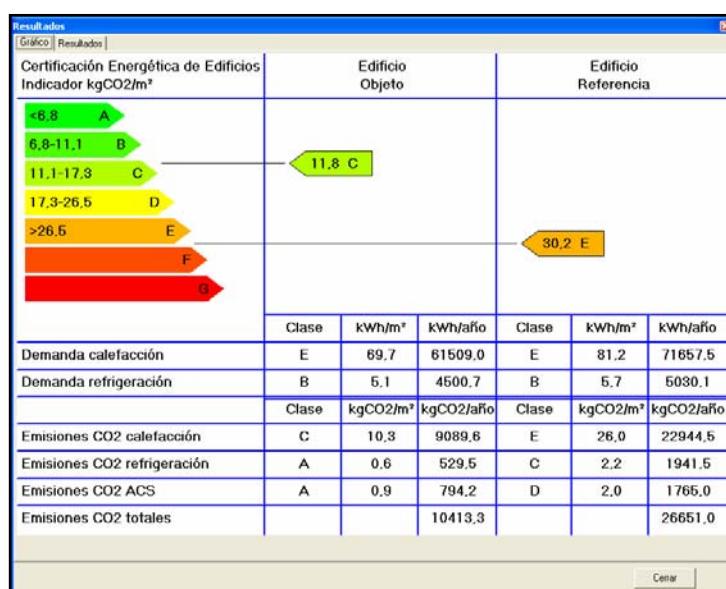


Ilustración 31 – Calificación Energética proporcionada por el programa CALENER VYP



17. ENERGÍA UTILIZADA POR LOS EQUIPOS DE LAS INSTALACIONES

17.1. FUENTES DE ENERGÍA UTILIZADAS

Para la climatización y producción de agua caliente sanitaria del edificio, se utilizan tres tipos de energía:

- **Energía geotérmica**, utilizable mediante las bombas de calor geotérmicas
- **Energía solar**, utilizable mediante los paneles solares o captadores
- **Energía eléctrica**, utilizada por el circuito frigorífico de las bombas de calor geotérmicas y por los equipos de impulsión

17.2. DEMANDA ENERGÉTICA ANUAL DEL EDIFICIO

Tal y como se ha calculado en los *ANEXOS 4 y 5*, las necesidades energéticas para calefacción, refrigeración y A.C.S. son las siguientes:

- Energía necesaria para refrigeración: 28925,81 kWh/año
- Energía necesaria para calefacción: 102508 kWh/año
- Energía necesaria para producción de A.C.S.: 14151 kWh/año

La **energía total demandada** por el edificio para cubrir las necesidades de todos los servicios es: **145.584,81 kWh/año**.



17.3. POTENCIA ELÉCTRICA CONSUMIDA POR LOS EQUIPOS

EQUIPO	CAUDAL DE CIRCULACIÓN (m³/h)	PÉRDIDA DE PRESIÓN (m.c.a.)	POTENCIA (kW)	CANTIDAD (uds)
BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA	-	-	CAL: 5,6 REF: 5,2 A.C.S.: 7,5	2
EQUIPO CIRCULACIÓN-PRIMARIO GEOTÉRMICO	4,86	12,12	0,44	
EQUIPO CIRCULACIÓN-PRIMARIO SOLAR	0,63	1,21	0,06	
EQUIPO CIRCULACIÓN-SECUNDARIO CLIMATIZACIÓN RAMAL VIV A, B, C	7,55	12,13	0,6	1
EQUIPO CIRCULACIÓN-SECUNDARIO CLIMATIZACIÓN RAMAL VIV D, E	3,88	10,82	0,36	1
EQUIPO CIRCULACIÓN-SECUNDARIO CLIMATIZACIÓN IMPULSIÓN HACIA DEPÓSITO DE INERCIA	3,72	0,72	0,03	2
EQUIPO CIRCULACIÓN-SECUNDARIO A.C.S. IMPULSIÓN HACIA DEPÓSITO AUXILIAR	4,71	3,4	0,15	1
EQUIPO CIRCULACIÓN-SECUNDARIO A.C.S. RETORNO	0,47	0,74	0,04	1

La potencia mínima simultánea eléctrica que será necesario contratar para el correcto funcionamiento de los equipos será de **13,35 kW**. La potencia eléctrica normalizada a contratar será de **17,3 kW**.

Para el cumplimiento del *RITE* se deberá atender a lo especificado en el artículo 12 del Reglamento y a su *Instrucción Técnica IT 1.2.4.2.5..* Para ello, se justifica para cada circuito la potencia específica de los sistemas de bombeo, denominado SFP, y definida como la



potencia absorbida por el motor dividida por el caudal de fluido transportado, medida en $\text{W}/(\text{m}^3/\text{s})$. Estos valores se calculan mediante un programa *Excel*, y se adjuntan en la tabla que aparece a continuación:

CIRCUITO	POTENCIA CONSUMIDA (kW)	CAUDAL DE CIRCULACIÓN (m^3/s)	SFP ($\text{W}/(\text{m}^3/\text{s})$)
PRIMARIO GEOTÉRMICO (2 grupos de circulación, uno por BCG)	0,44	0,00135	325925,93
PRIMARIO SOLAR	0,06	0,000175	342857,14
SECUNDARIO CLIMATIZACIÓN RAMAL VIV A, B, C	0,6	0,00209	286092,72
SECUNDARIO CLIMATIZACIÓN RAMAL VIV D, E	0,36	0,00107	334020,62
SECUNDARIO CLIMATIZACIÓN IMPULSIÓN HACIA DEPÓSITO DE INERCIA (2 grupos de circulación, uno por BCG)	0,03	0,00103	29032,26
SECUNDARIO A.C.S. IMPULSIÓN HACIA DEPÓSITO AUXILIAR	0,15	0,00130	114649,68
SECUNDARIO A.C.S. RETORNO	0,04	0,00013	306382,98

En cuanto a los motores eléctricos, la *Instrucción Técnica IT 1.2.4.2.6 del RITE* especifica valores mínimos de rendimiento de los motores eléctricos de inducción con jaula de ardilla, trifásico, protección IP54 o IP55, de 2 ó 4 polos, de diseño estándar, de 1,1 a 90 kW. En el caso que ocupa al presente proyecto, la mayor potencia de los motores de las bombas seleccionadas (0,65 kW) queda fuera del rango de la tabla que se muestra a continuación, con lo que la Instrucción Técnica IT 1.2.4.2.6 no es de aplicación.

kW	1,1	1,5	2,2	3,0	4,0	5,5	7,5	11	15	18,5	22	30	37	45	55	75	90
%	76,2	78,5	81,0	82,6	84,2	85,7	87,0	88,4	89,4	90,0	90,5	91,4	92,0	92,5	93,0	93,6	93,9

Tabla 4 – Valores mínimos de rendimiento de los motores eléctricos de las bombas de circulación

17.4. CONSUMO ANUAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Para la determinación del consumo anual de energía se han tenido en consideración las horas de utilización de los distintos equipos del sistema de climatización y producción de A.C.S. y las potencias individuales absorbidas por los mismos. Este cálculo, que se puede encontrar en el *ANEXO 11*, se ha realizado mediante la ayuda de una tabla *Excel* de elaboración propia. El consumo anual de energía eléctrica obtenido tiene un valor de 39.534,77 kWh/año.



18. ESTUDIO COMPARATIVO DE AHORRO FRENTE A OTRAS FUENTES ENERGÉTICAS

18.1. ESTUDIO COMPARATIVO ENERGÉTICO Y ECONÓMICO ENTRE LAS DISTINTAS FUENTES DE ENERGÍA

Para la climatización del edificio, se ha utilizado como fuente de energía la electricidad. Dado que existen otras alternativas energéticas, se procederá ahora a evaluar el consumo energético con cada una de ellas, comparándolas posteriormente entre sí. Los criterios que se han establecido para la comparación así como las tablas que se han utilizado para realizar el estudio se adjuntan en el ANEXO 12. En los cálculos que se realizan en dichas tablas, se han considerado como fuentes energéticas para calefacción gas natural [46], gasóleo C, GLP (propano canalizado) [47] y electricidad [48] en las modalidades de aerotermia y geotermia.

En base a los resultados de dichas tablas, se observa una **importante diferencia en el consumo energético de la geotermia frente al gas natural, gasóleo C y propano**, con unos ahorros del **65,39%, 66,54% y 65,68%** respectivamente. En comparación con la aerotermia, el resultado es inferior, aunque favorable a la geotermia, dado que el principio de funcionamiento de ambos sistemas energéticos es similar, con la excepción de que la temperatura del foco de absorción/cesión de calor de la geotermia es mucho más estable que en la aerotermia, que está sujeta a las fluctuaciones de temperatura del ambiente exterior. Esta estabilidad se ve reflejada en términos energéticos, con un ahorro del **11,52%**.

En relación a los resultados económicos, y como consecuencia de la diferencia de consumo de energía entre la geotermia y el resto de fuentes [49, 50], se puede afirmar que la **utilización de la energía geotérmica supone un ahorro económico del 26,7%** frente al gas natural, del **33,5%** frente al gasóleo C, del **42,45%** frente al propano y del **10,83%** frente a la aerotermia. Estos porcentajes traducidos a cuantía económica suponen un ahorro de **1.932,50 €, 2.672,50 €, 3.913,18 € y 643,90 €** al año respectivamente sobre un total, en el caso más desfavorable, de 9.217,32 €.

Estos importes pueden parecer irrelevantes en términos absolutos, pero hay que tener en cuenta que se trata de un edificio de sólo 10 viviendas con un promedio de 62 m² por vivienda, por lo que si estos valores se extrapolaran a un edificio con mayor número de viviendas y superficie, serían unos valores lo suficientemente representativos como para seleccionar un sistema de climatización y producción de A.C.S. por geotermia.

Lo que aquí se ha comentado, se puede apreciar con mayor claridad en las gráficas que se adjuntan a continuación.

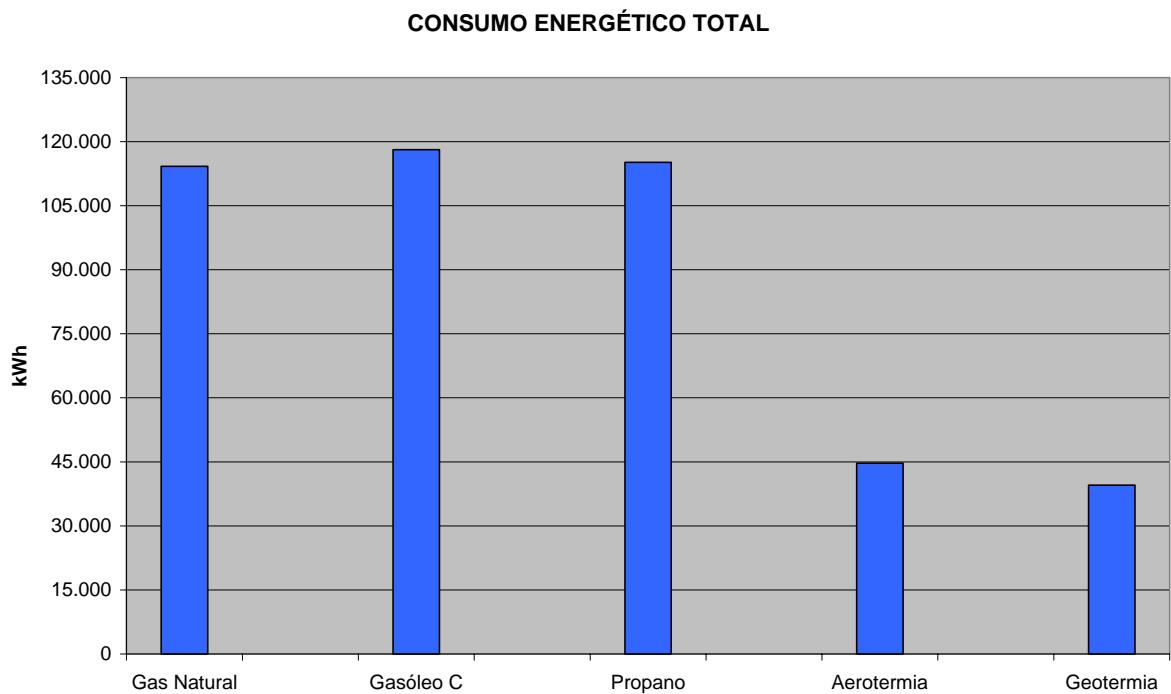


Ilustración 32 – Comparativa del consumo energético anual total entre distintas fuentes de energía

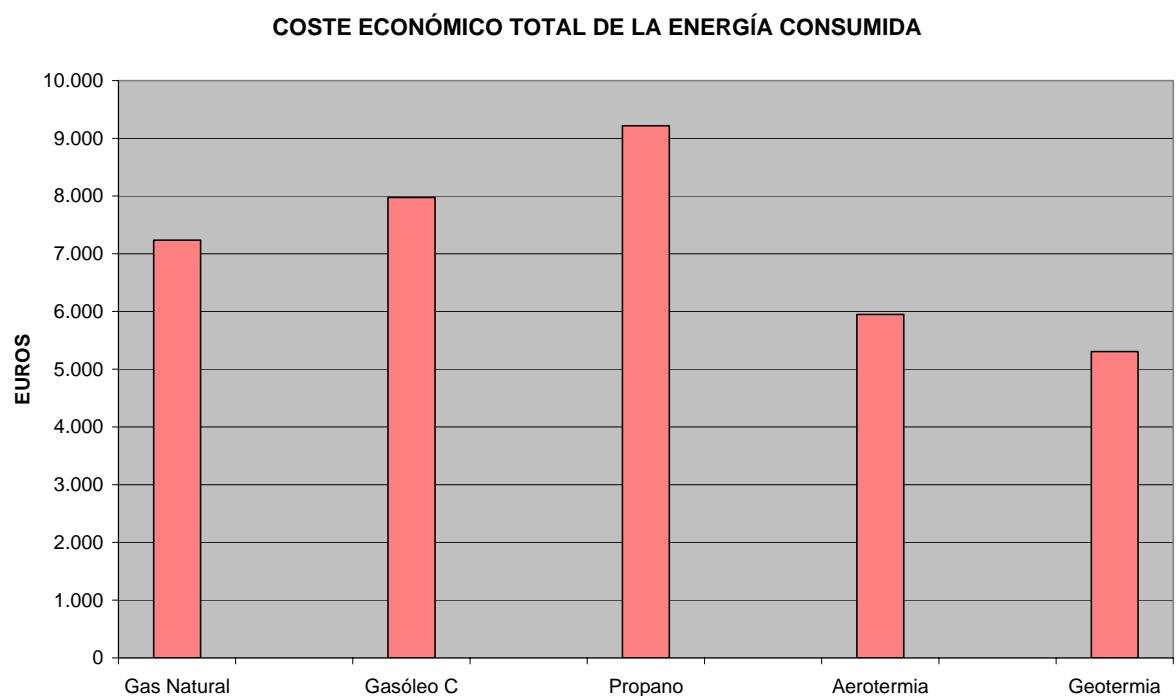


Ilustración 33 – Comparativa del coste económico total de la energía consumida entre distintas fuentes de energía

18.2. EMISIONES DE CO₂ DE LAS FUENTES DE ENERGÍA COMPARADAS

El análisis de ahorro energético y económico del apartado anterior se ha realizado comparando la energía geotérmica con otras fuentes de energía, como son el gas natural, gasóleo C, propano y aerotermia. Todos estos sistemas energéticos poseen su huella medioambiental en forma de emisiones de CO₂ a la atmósfera, evaluando y calculando en las tablas que se adjuntan en el **ANEXO 12** la cantidad de las mismas [51, 52, 53].

De los cálculos realizados se deduce que la fuente energética para la climatización y producción de agua caliente sanitaria del edificio con **menor impacto medioambiental en términos de emisiones de CO₂** es la **energía geotérmica**, con un valor absoluto de 9,21 Tm al año. Este valor representa un ahorro en las emisiones de CO₂ del **62,63%, 73,52%, 67,45%** y 11,52% frente a las fuentes de energía evaluadas: gas natural, gasóleo C, propano y aerotermia respectivamente. Estos porcentajes equivalen a un ahorro de emisiones de CO₂ de **15,43 Tm/año** frente al gas natural, de **25,56 Tm/año** frente al gasóleo C, de **19,08 Tm/año** frente al propano y **1,2 Tm/año** frente a la aerotermia, con lo que la **energía geotérmica se postula como la energía más limpia de entre las energías disponibles** para el sector doméstico y residencial.

En la ilustración que se acompaña a continuación se muestra gráficamente la diferencia, en términos de emisiones de CO₂, existente entre las distintas fuentes de energía evaluadas

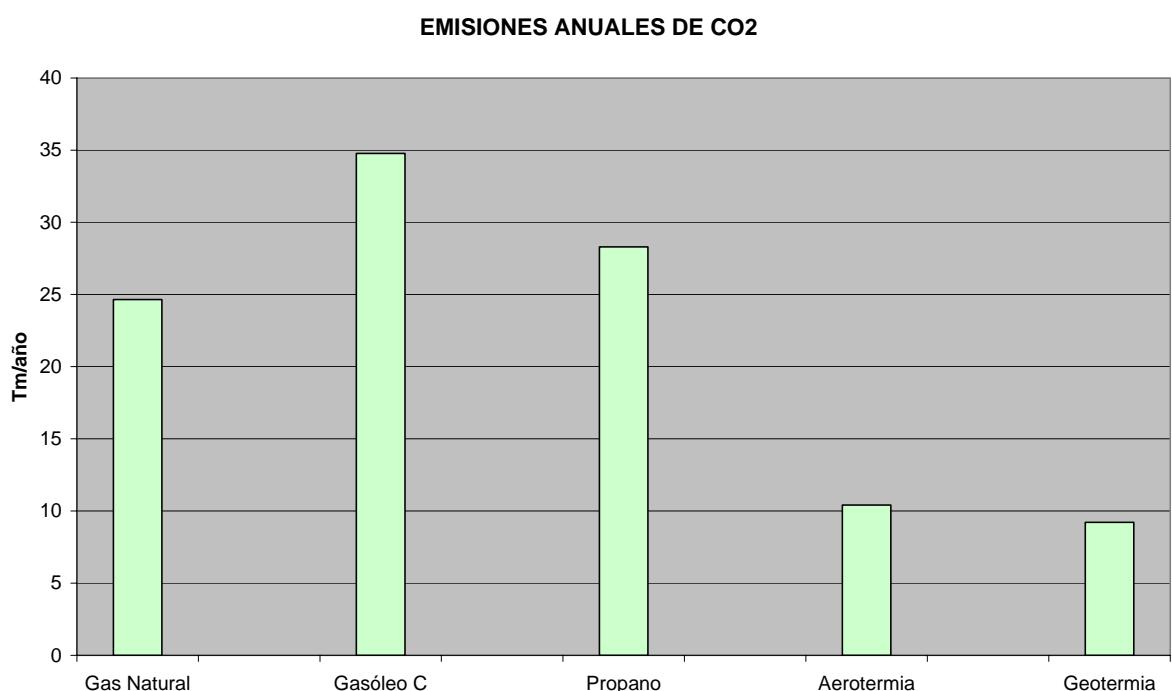


Ilustración 34 – Comparativa de las emisiones anuales de CO₂ entre distintas fuentes de energía

19. CONCLUSIONES

De la elaboración del proyecto que se presenta, se pueden deducir las siguientes conclusiones:

- La calidad de los cerramientos, y en especial la de su aislamiento térmico, es un factor muy importante a tener en cuenta en la construcción de un edificio, dado que constituye la base para un uso racional y eficiente de la energía. Se deduce de ello la importancia de **concienciar a los distintos agentes que intervienen en el diseño y construcción de un edificio**, y en especial a los compradores o usuarios finales del mismo, quienes tienen la potestad de seleccionar aquellas construcciones que posean mejor grado de aislamiento. En este sentido, la implantación del Sistema de Calificación Energética de los Edificios contribuirá a poner en práctica lo comentado.
- La utilización de la energía geotérmica, frente a otras fuentes de energía convencionales, se postula como **alternativa real** para equipar los sistemas de climatización y producción de A.C.S. en edificios de tipo residencial. Como se deduce del estudio de ahorro energético, incluido en el proyecto, la geotermia representa unos **ahorros del 65,39%, 66,54%, 65 y 68%** frente al gas natural, gasóleo C y propano respectivamente. Estos ahorros, en términos económicos, suponen un porcentaje de **26,7%** frente al gas natural, del **33,5%** frente al gasóleo C y del **42,45%** frente al propano.
- La energía geotérmica en comparación con la aerotermia (bomba de calor “aire-agua”), desde el punto de vista de eficiencia energética, presenta también unos **índices de rendimiento más elevados, con ahorros energéticos del 11,52%**, como consecuencia de la estabilidad térmica del foco donde se absorbe/cede calor, como es el terreno, que mantiene una temperatura que oscila entre los 7 y los 20°C. Por ello, la geotermia se perfila también como una **buena alternativa a la aerotermia**, cuyo rendimiento es inferior debido las oscilaciones térmicas del ambiente exterior, que pueden variar entre -2 y 35°C.
- Además de los ahorros descritos, la energía geotérmica **no requiere para su utilización de infraestructuras específicas previas**, tales como redes de distribución para el caso de gas natural o GLP canalizado o depósitos de almacenamiento para el caso del Gasóleo C, pudiendo ser utilizada en cualquier zona geográfica, lo que la hace especialmente recomendable en lugares aislados que carecen de infraestructuras mínimas. En el caso de edificios ya construidos, la energía geotérmica presenta el inconveniente de necesitar terrenos contiguos donde se puedan realizar las perforaciones para ubicar las sondas de captación, cuestión que en ocasiones no resulta sencilla.
- Desde el punto de vista de impacto medioambiental, la utilización de la energía geotérmica resulta **más limpia**, dado que **se reduce la emisión de CO₂** a la atmósfera



en, al menos, un **60%** con respecto a las fuentes de energía convencionales, tal y como queda reflejado en el apartado anterior de esta *MEMORIA*.

- La energía geotérmica proviene de una **fuente de energía inagotable**, como es la capacidad de la Tierra de absorber o ceder calor, no estando sujeta a régimen tarifario, a excepción de la energía eléctrica consumida por el equipo frigorífico de las bombas de calor geotérmicas y los circuladores asociados a ellas, que suponen un 28% aproximadamente de la energía entregada al edificio, por lo que las oscilaciones de precios energéticos le afectan en mucha menor medida.
- Para la instalación de un sistema geotérmico, la inversión a realizar inicialmente es más elevada, fundamentalmente por la perforación del terreno donde se ubica el campo geotérmico, pero resulta **muy rentable en términos económicos** si se analiza en el contexto de la vida útil del edificio, que se puede estimar en torno a 50 años.
- Los equipos que utilizan energía geotérmica son **capaces de proporcionar todos los servicios**: calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria, mientras que en caso de utilizar otras energías como gas natural, GLP o gasóleo C, es necesario disponer unos equipos para el servicio de agua caliente sanitaria y calefacción y otros para el servicio de refrigeración.

En el plano personal, la confección del proyecto ha permitido poner de relieve los siguientes aspectos:

- Ser capaz de aplicar a un caso práctico, perfectamente realizable, los conocimientos adquiridos en la carrera, y en especial, los contenidos de orden técnico, que me han permitido asimilar sin dificultad la información que he necesitado cotejar para redactar este proyecto.
- Tener la posibilidad de utilizar en los cálculos de circuitos hidráulicos, transferencias de calor, dilataciones de fluidos, etc. la formulación y teorías que se me han impartido durante los estudios de ingeniería, aplicándolos a un caso real. Por ejemplo, gracias a este proyecto he conocido la aplicación objetiva del ciclo frigorífico de la bomba de calor geotérmica, basada en el ciclo de Carnot, y su eficiencia como sistema para generar calor o frío; o he visto lo que significa en la realidad utilizar el caudal y las pérdidas de carga para seleccionar una bomba de circulación.
- Utilizar la lógica y establecer un criterio basado en los conocimientos y apoyado en el sentido común que me ha permitido determinar la coherencia de los resultados obtenidos, comprobando si responden con la realidad.
- Gracias a este proyecto, he podido desarrollar mi capacidad para crear tablas de cálculo complejas así como aprender a utilizar programas totalmente nuevos para



mi, como el programa *CYPE*, *THERM* o *CALENER*, y perfeccionar el uso de otros ya conocidos, como el programa *AUTOCAD* o el programa *LIDER*, apoyándome en ellos para resolver las diferentes cuestiones de diseño y dimensionado de los elementos que componen la instalación y que han ido apareciendo a lo largo del proyecto.

- Tomar conciencia de lo que supone en términos reales el consumo energético de un edificio, el importe económico del mismo y el coste de las instalaciones a realizar.
- Finalmente, la realización de este proyecto ha permitido poner a prueba mi capacidad de trabajo, traducida en tiempo dedicado al mismo, ya que he considerado la elaboración del este proyecto como una actividad organizada en jornadas de 10 horas diarias, muy asimilables a las que puedo encontrar en mi futuro profesional.

Fdo.: Jorge E. Bergua Díez

Ingeniería Superior Industrial

Zaragoza, Noviembre del 2010

B

BIBLIOGRAFÍA

- [1.] *"Comentarios al RITE-2007"*, del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
- [2.] *"Nota informativa sobre la entrada en vigor y aplicación del Código Técnico de la Edificación"*, del Ministerio de Vivienda.
- [3.] *"Cálculo de las transmitancias de una vivienda"*, por Jesús Guallar Paracuellos, Noviembre 2008.
- [4.] *"Catálogo de Elementos Constructivos"*, del Código Técnico de la Edificación.
- [5.] *"Definición de puente térmico"*, de la web www.construmatica.com.
- [6.] *"Puentes térmicos en edificación"*, de Dow Building Solutions.
- [7.] *"THERM NFRC Simulation Manual"* ,de LBNL Windows & Daylighting Software.
- [8.] *"Uso de Therm para el cálculo de Puentes Térmicos en Edificios"*, por URSA, Grupo Uralita.
- [9.] *"Datos climáticos para Zaragoza"*, de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).
- [10.] *"Condiciones de cálculo de cargas térmicas"*, de la Asociación Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR).
- [11.] *"Cálculo de cargas térmicas"*, del blog de Ingenieros Industriales www.ingenierosindustriales.com.
- [12.] *"Método de cálculo de Cargas Térmicas de Invierno y Verano"*, de DMELECT, Software de instalaciones para ingeniería, arquitectura y construcción..
- [13.] *"Guía de la Energía Geotérmica"*, Comunidad de Madrid.
- [14.] *"Ahorro de energía. Aprovechamiento de la energía geotérmica en las instalaciones de climatización"*, de Ana María García López, de CIATESA.

[15.] *"The futures of Geothermal Energy"*, de Massachussets Institute of Technology, 2006.

[16.] *"Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo del 23 de Abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE"*, Diario Oficial de la Unión Europea.

[17.] *"Intercambiadores geotérmicos verticales"*, de Marina Pérez y Daniel Zubiria de I.E.P. Geotermia.

[18.] *"Aprovechamiento geotérmico de las aguas subterráneas de Zaragoza. Hacia un crecimiento sostenible"*, por E. Garrido y J. Sánchez, 2009.

[19.] *"Geothermal Energy: Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact"*, de Rondal DiPippo, Mayo 2007.

[20.] *"Atlas de la Energía Geotérmica en Aragón"*, Gobierno de Aragón.

[21.] *"Composición y propiedades de la lutita"*, Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo.

[22.] *"Características de la lutita"*, de la página web Wikipedia.

[23.] *"Deutsch-Spanische Tagung zu Geothermie: Geothermie-Bohrungen für Anwendungen in Gebäuden: Dimensionierung und Ausführung"*, de Christian Bornito, CMB+ Bohrtechnik für Erdwärme GMBH.

[24.] *"¿Cuánto calor puedo sacar del terreno?"*, del blog GeoEficiencia, <http://geoeficiencia.blogspot.com>.

[25.] *"50 W/m - ¿Número mágico o Número crítico? Requisitos técnicos en la creación de instalaciones geotérmicas"*, de D. Rüdiger Grima.

[26.] *"Test de Respuesta Térmica"*, de Girod Geotermia.

[27.] *"Sondas geotérmicas HAKA.GERODUR"*, INGEO-Investigación Geotérmica.

[28.] *"Buenas prácticas para instalaciones con BCG. Eficiencia Energética en Calefacción y Refrigeración: Aprovechamientos Geotérmicos mediante Bomba de Calor"*, por Juan Ignacio Rodríguez, EnergyLab.

[29.] *"Sistema Raugeo para el aprovechamiento geotérmico: Información Técnica"*, REHAU, Unlimited polymer solutions.

- [30.] *"Influencia del tipo de relleno del sondeo en la eficiencia del campo de captación geotérmico"*, de Alfredo Fernández, Dr. Burkhard Sanner, Carsten Gieß, Dr. Erich Mands y Lucía Novelle.
- [31.] *"Características de la bentonita"*, de la página web Wikipedia.
- [32.] *"Recomendaciones de diseño en geotermia"*, de Telur Geotermia y Agua S.A..
- [33.] *"Manejo de la influencia térmica entre las sondas geotérmicas"*, de Prof. Dr.-Ing. R. Katzenbach, Dipl.-Ing. I. Wagner.
- [34.] *"Energía solar térmica"*, de Miliarium Ingeniería Civil y Medio Ambiente.
- [35.] *"Energía Solar Térmica, Proyecto RES & RUE Dissemination"*, por Marco Prosperi y Claudio Minelli, ACCOMANDITA.
- [36.] *"Sistemas de Energía Solar"*, de la web <http://chilecubica.com>.
- [37.] *"Instalación de circulación natural o termosifón en Energía Solar Térmica"*, de Ramasol Sistemas Ecoenergéticos.
- [38.] *"La guía Asit de la Energía Solar Térmica"*, Octubre de 2008, ASIT.
- [39.] *"Instalaciones de energía solar térmica"*, de SOLICLIMA Energía Solar.
- [40.] *"Calefacción y refrigeración por suelo radiante"*, de Giacomini: Technology in Comfort.
- [41.] *"Manual Técnico para instalaciones de calefacción y refrigeración por suelo"*, de UPONOR.
- [42.] *"Información complementaria de suelo radiante"*, de SOLICLIMA Energía Solar.
- [43.] *"Calefacción por suelo radiante"*, de LANSOLAR MAGAZINE.
- [44.] *"Sistemas de calefacción y refrigeración por suelo (II)"*, de THERMIE Energie.
- [45.] *"Agua caliente sanitaria central"*, elaborado por el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía).
- [46.] *"Tarifas de gas natural"*, BOE 30/09/2010.
- [47.] *"Tarifas de gases licuados del petróleo"*, BOE 18/10/2010.
- [48.] *"Tarifas de energía eléctrica"*, BOE 30/09/2010.

[49.] “*Unidades de medida: valores indicativos de los precios de combustibles y energía eléctrica*”, del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y el Departamento de Industria, Comercio y Turismo del Gobierno de Aragón.

[50.] “*Evolución y tendencia de los precios de combustibles, gasolinas y gasóleos en España*”, de la Comisión Nacional de la Energía (CNE).

[51.] “*Factores de emisión de CO₂ y PCI de los combustibles*”, Informe Inventarios GEI 1990-2006 (2008), Ministerio de Medio Ambiente.

[52.] “*Emisiones de CO₂ del CENEAM 2004-2009*”, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

[53.] “*Factores de conversión a energía primaria y factor de emisión de CO₂ para carburantes, usos térmico y electricidad*”, Enero 2010, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

[54.] “*Catálogos técnicos comerciales*”, de la marca SEDICAL.

[55.] “*Catálogos técnicos comerciales*”, de la marca VAILLANT.

[56.] “*Catálogos técnicos comerciales*”, de la marca BUDERUS.

[57.] “*Catálogos técnicos comerciales*”, de la marca CIATESA.

[58.] “*Catálogos técnicos comerciales*”, de la marca UPONOR.

[59.] “*Catálogos técnicos comerciales*”, de la marca AMBER GLOBE.

[60.] “*Manual de utilización del módulo Aislamientos*”, del programa CYPE.

[61.] “*Manual de utilización del módulo Solar Térmica*”, programa CYPE.

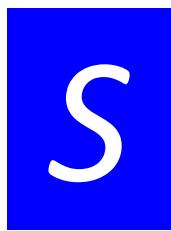
[62.] “*Manual de utilización del módulo Climatización*”, programa CYPE.

[63.] “*Manual de utilización del módulo Salubridad*”, programa CYPE.

[64.] “*Guía del manual de LIDER*”, de Ursa, Grupo Uralita.

[65.] “*Guía del manual de CALENER VYP*”, del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

[66.] “*Guía del manual del programa GeoCiatesa*”, de la casa comercial CIATESA.



SOFTWARE UTILIZADO

1. *"Therm 5"*, de Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) Software.
2. *"Programa LIDER"*, del Ministerio de Vivienda y el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
3. *"Programa CALENER VYP"*, por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, a través del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), y por el Ministerio de Vivienda.
4. *"Programa CYPE - Módulo Instalaciones: Aislamiento, Salubridad, Climatización, Solar Térmica"*, de CYPE Ingenieros, Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción.
5. *"GeoCIATESA"*, de la marca CIATESA.
6. *"CalcGeo VAILLANT"*, de la marca VAILLANT.
7. *"EED - Earth Energy Designer"*, de Buildingphysics.com, Software for heat transfer and ground heat.
8. *"Sistemas Solares Buderus"*, de la marca BUDERUS:
9. *"Programas Técnicos Sedical S.A. – Módulos Bombas, Vasos, K-Flows"*, de la marca SEDICAL.
10. *"Autocad 2009"*, de Autodesk SA.
11. *"MS Office Excel 2003"*, de Microsoft.