

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

*Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos
Área de Ingeniería Térmica*



Ingeniería Técnica Industrial especialidad Mecánica

PROYECTO FIN DE CARRERA

ESTUDIO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE CALOR MEDIANTE ENERGÍAS RENOVABLES EN UN SISTEMA MODULAR DE VIVIENDAS

*Autor: Pablo López Fuentes
Tutora: José Vicente Moya Girón*

Julio 2012

Índice:

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUCCION..... | 5 |
| 2. MOTIVACION Y OBJETIVOS..... | 6 |
| 2.1 Motivación | 6 |
| 2.2 Objetivos..... | 7 |
| 3. VALORACIÓN TECNOLOGÍAS ESCOGIDAS..... | 8 |
| 3.1 Energía solar térmica..... | 8 |
| 3.2 Suelo radiante..... | 8 |
| 3.3 Caldera biomasa | 10 |
| 4. ENERGÍA SOLAR DISPONIBLE..... | 13 |
| 5. NECESIDADES ENERGETICAS..... | 17 |
| 5.1 Emplazamiento..... | 17 |
| 5.2 Descripción..... | 17 |
| 5.3 Legislación y normativa aplicable..... | 18 |
| 5.4 Componentes de la instalación..... | 20 |
| 5.5 Necesidades de ACS..... | 25 |
| 5.6 Necesidades Sistema de climatización..... | 31 |
| 5.6.1 Condiciones instalación. Descripción..... | 31 |
| 5.6.2 Coeficientes globales Kg del edificio..... | 32 |
| 5.6.3 Descripción cálculo cargas térmicas..... | 33 |
| 5.7 Piscina..... | 44 |
| 5.8 Resultados..... | 46 |
| 6. CÁLCULO Y DISEÑO DE LOS SISTEMAS..... | 48 |
| 6.1 Circuito primario..... | 49 |
| 6.1.1 Instalación de los colectores..... | 49 |
| 6.1.2 Red de tuberías..... | 54 |
| 6.1.3 Bomba de circulación..... | 65 |
| 6.1.4 Acumulador e intercambiador de calor..... | 69 |
| 6.1.5 Vaso de expansión..... | 75 |
| 6.1.6 Anticongelante..... | 77 |
| 6.1.7 Aerotermo..... | 78 |
| 6.1.8 Cuadro eléctrico, termostato diferencial y grupo hidráulico..... | 80 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 6.2 | <i>Circuito secundario</i> | 81 |
| 6.2.1 | <i>Red de distribución ACS</i> | 82 |
| 6.2.2 | <i>Suelo radiante</i> | 83 |
| 6.2.3 | <i>Piscina</i> | 95 |
| 6.2 | <i>Sistema de apoyo</i> | 96 |
| 6.3.1 | <i>Caldera biomasa</i> | 99 |
| 7. | IMPACTO AMBIENTAL | 104 |
| 7.1 | <i>Descripción</i> | 104 |
| 7.2 | <i>Emisiones de CO₂ actuales</i> | 105 |
| 8. | VIABILIDAD ECONÓMICA | 108 |
| 9. | CONCLUSIONES VIABILIDAD ECONÓMICA E IMPACTO AMBIENTAL | 113 |
| 10. | OPERACIONES DE MANTENIMIENTO | 114 |
| 10.1 | <i>Instalación solar</i> | 114 |
| 10.2 | <i>Calderas Biomasa</i> | 114 |
| 11. | PROPUESTAS DE MEJORAS | 116 |
| 12. | TRABAJOS FUTUROS | 117 |
| 13. | CONCLUSIONES | 118 |
| 14. | BIBLIOGRAFÍA | 120 |
| 15. | ANEXOS | |
| - | <i>ANEXO 1: Índice de figuras, tablas y fórmulas</i> | |
| - | <i>ANEXO 2: Presupuestos</i> | |
| - | <i>ANEXO 3: Documentos técnicos y catálogos</i> | |
| - | <i>ANEXO 4: Planos</i> | |

1. INTRODUCCIÓN

España produce aproximadamente el 23% de la energía total primaria que consume, por lo que se ve obligada a importar la mayor parte de la energía para cubrir la demanda existente. El consumo primario de energía en España ascendió en el año 2010 a 132.129 ktep.

En la estructura de consumo de energía primaria en España destaca el petróleo, que representa un 47,3% del total del cual, el gas natural ocupa la segunda posición con un 23,5% del total. La energía nuclear es la tercera fuente en importancia, representando el 12,2%, seguida del carbón con un 6,2%.

En el conjunto del consumo energético (electricidad y otros usos), el porcentaje representado por las energías renovables fue del 11'3%.

Respecto a la estructura final de consumo, la principal fuente de demanda en el ámbito nacional es el petróleo y sus derivados, ascendiendo a un valor de 54.526 ktep lo que representa un 54.6% del total nacional. Le siguen la electricidad con el 21,4% y el gas natural con el 17,0%.

Las energías renovables juegan ya un papel destacado en la generación de energía eléctrica en el estado español. El porcentaje de la electricidad consumida de origen renovable sigue creciendo.

Las oportunidades laborales que ofrece el sector son numerosas, y las perspectivas son de incremento, a tenor de la planificación energética llevada a cabo por el gobierno. En el Plan de Energías Renovables 2012-2020 (PER) se prevé alcanzar entre un 16'8% y un 19'5%, dependiendo del escenario considerado, de participación de las energías renovables en el total del consumo energético, y hasta un 38% en generación de electricidad, lo que supone un incremento del 50% respecto a la generación actual.

El aprovechamiento por el hombre de las fuentes de energía renovable, entre ellas las energías solar, eólica e hidráulica, es muy antiguo; desde muchos siglos antes de nuestra era ya se utilizaban y su empleo continuó durante toda la historia hasta la llegada de la "Revolución Industrial", en la que, debido al bajo precio del petróleo, fueron abandonadas.

Durante los últimos años, debido al incremento del coste de los combustibles fósiles y los problemas medioambientales derivados de su explotación, estamos asistiendo a un renacer de las energías renovables.

Las energías renovables son inagotables, limpias y se pueden utilizar de forma autogestionada (ya que se pueden aprovechar en el mismo lugar en que se producen). Además tienen la ventaja adicional de complementarse entre sí, favoreciendo la integración entre ellas.

2. MOTIVACIÓN Y OBJETIVO DEL PROYECTO

2.1 MOTIVACIÓN

La principal motivación para realizar este proyecto, es el interés personal de conocer el modo de implantación de una tecnología que permita responder a las nuevas normativas así como las necesidades actuales de la sociedad y del medio ambiente al hacer uso de energía renovable, además de ser una tecnología eficiente con una reducción importante de emisiones contaminantes, de manera que el descenso energético, y la adecuación de nuestros consumos energéticos a los ritmos naturales, se haga cada vez mas evidente.

Todas las nuevas construcciones están obligadas a instalar sistemas de aprovechamiento de energía solar térmica. Esta norma, sin duda, supone un impulso definitivo a esta tecnología.

En cuanto a las instalaciones, podemos encontrar equipos que se adapten a muchas de las situaciones cotidianas, las cuales no solo se basan sistemas de captación y generación, sino también en las grandes dificultades que plantea la acumulación de esa energía, que no está siempre que la necesitamos, ni en la cantidad que la requerimos.

Actualmente podemos afirmar que el aprovechamiento de la energía solar térmica es una tecnología madura y fiable, que las inversiones realizadas en general son rentables, tanto económicamente como medioambientalmente hablando, sin la necesidad de subvenciones, tema importante debido a la situación de crisis económica actual, y que se trata de una alternativa más respetuosa con el medio ambiente.

En los últimos años se viene produciendo un aumento notable de instalaciones de energía solar térmica debido, por una parte, a la mayor sensibilidad social y política hacia temas medioambientales y, por otra, a la continua mejora y reducción de costes de los sistemas solares, los cuales se están introduciendo en el mercado, a pasos agigantados, además de que cada vez van recibiendo mas apoyo de entidades privadas, así como de la propia administración, y políticas de gobierno.

La energía solar no se agota, se obtiene de forma periódica y no limitada en el tiempo, no produce lluvia acida ni contribuyen al efecto invernadero, no deja residuos importantes, acerca las fuentes de producción al consumidor, ahorrando miles de kilovatios en transporte, fortalece la independencia energética y la industria nacional, favorecen la creación de empleo y por si esto fuera poco, nos resulta mas barata, además de, sin darnos cuenta, que

estamos comprando no solo la energía de hoy, sino la necesaria en los próximos años. Pero tiene el inconveniente de depender de las condiciones climáticas, así como la radiación solar propicia en cada instante del año, por lo que estas instalaciones, suelen ir con sistemas de apoyo, que se suelen basar en combustibles fósiles, o en otros tipos de combustibles, que no dependen de estas variables, como la biomasa.

Así, los sistemas de acumulación, son en algunos casos, como las baterías solares, un elemento muchas veces imprescindible en la instalación, pero que en carece esta misma, además de que su vida útil, es mucho inferior a la que pueden tener los sistemas de generación.

En el caso de las instalaciones de solar térmica, los depósitos son imperfectos y no son verdaderamente eficaces en su cometido, aunque si necesarios, como veremos mas adelante.

En Marzo de 2007 el Consejo Europeo dio luz verde a la directiva sobre eficiencia energética de los edificios. Se trata de una serie de medidas cuantitativas destinadas a conseguir el mayor ahorro energético posible, teniendo en cuenta que los edificios consumen en torno al 40 % de la energía utilizada en la Unión Europea.

La propuesta europea, se basa en la utilización de energías limpias (como la solar) para las instalaciones de calefacción, agua caliente o electricidad.

Algunas ciudades españolas, como Barcelona, Sevilla o Madrid, ya han adoptado medidas en este sentido promoviendo ayudas como los planes "renove" o subvenciones.

Con este proyecto se pretende avanzar en esta línea, adaptándonos a un cambio que parece evidente y necesario.

2.2 OBJETIVOS

El objetivo del presente proyecto consiste en el calculo de instalaciones de ACS, calefacción por suelo radiante, y frío por absorción en un bloque de edificios de bajo consumo realizado mediante la reutilización de contenedores, criterios bioclimáticos de orientación, además valoración económica de alto uso de energías renovables, realizando unas viviendas económicas de bajas emisiones de CO₂.

Consistirá en crear un modelo hipotético de urbanización formado por container reutilizados, calculando los consumos energéticos que puedan tener. Se trata detallar dimensiones de las instalaciones, en función de número de viviendas, realizando el proyecto de instalaciones por vivienda de:

- Instalaciones de Solar térmica para:
 - ACS
 - Suelo Radiante
 - Calentamiento de piscina

- Caldera Biomasa
 - ACS
 - Suelo Radiante

3. VALORACIÓN TECNOLOGÍAS ESCOGIDAS

3.1 ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

Se utilizará un sistema solar térmico, que aproveche la energía del sol para calentar agua de uso sanitario. Así, podremos emplear parte de esta energía para el sistema de suelo radiante, el cual funciona a una temperatura parecida a la utilizada en ACS. Consiste en unas instalaciones en las que se presentan dos circuitos:

- Circuito primario, el cual se ocupa de calentar un fluido caloportador, en general agua mas anticongelante, debido a que este circuito está expuesto a las condiciones térmicas exteriores, en el cual se pueden dar temperaturas menores o próximas a 0°C.
- Circuito secundario, el cual se ocupa del balance de agua en el interior del acumulador, así como de dar aporte energético al agua y distribuirlo en los circuitos que alimentan los puntos de consumo.

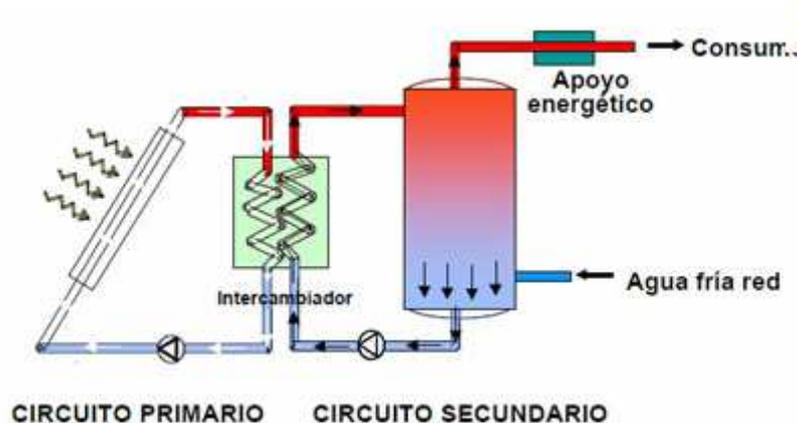


Figura 3.1.1: Esquema instalación solar térmica baja temperatura

Así, este sistema se puede aprovechar para ACS, calefacción, o incluso frío por absorción o calentamiento de piscinas, empleando un circuito terciario, recibiendo la energía mediante un intercambiador de calor.

3.2 SUELO RADIANTE

El sistema escogido para realizar la climatización de la vivienda es el suelo radiante en invierno el cual está basado en la circulación de agua caliente a baja temperatura por el interior del suelo, haciendo de este una plancha de emisión de calor.

La principal diferencia entre un sistema de calefacción tradicional por radiadores y un sistema de calefacción por suelo radiante es la temperatura a la que trabaja la caldera.

Mientras que para un sistema de radiadores la caldera trabaja a una temperatura de entre 70° y 90°, en el suelo radiante la caldera trabaja a unas temperaturas de entre 40 y 50°, pudiendo ser limitadas a 50°. Esto hace que el ahorro en el consumo energético sea considerable.

La conducción se produce al entrar en contacto las tuberías del suelo radiante con el mortero que las recubre. En el caso del suelo radiante, la emisión por radiación representa el 70% de la transmisión total. El 30% restante se emite por convección.

Esto permite que comparando este sistema con los sistemas tradicionales de calefacción por radiadores (30% radiación, 70% convección), sea el que mas se acerca a la denominada calefacción ideal.

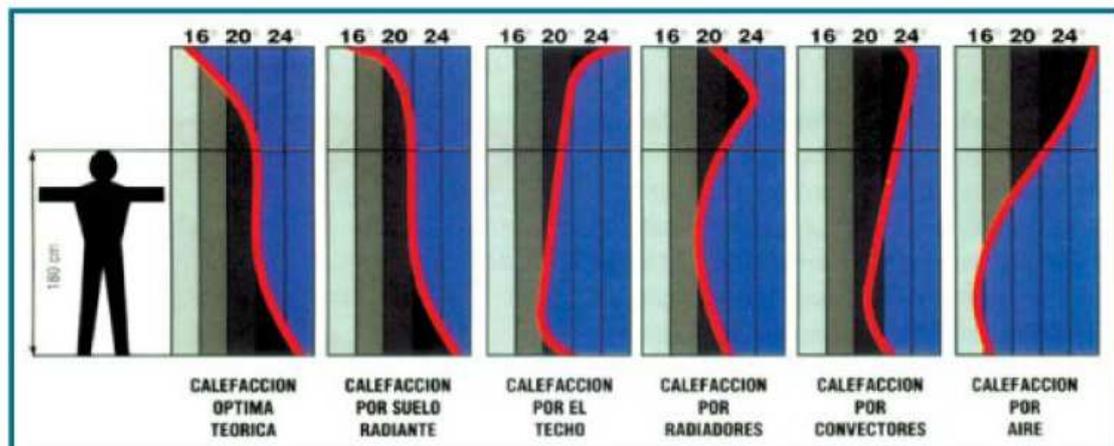


Figura 3.2.1: Distribución de temperatura según tipo de calefacción

Esta calefacción ideal es aquella que aporta la temperatura más elevada al nivel del suelo. Se mantiene estable con unos 20°C desde unos 10 a 20 cm. sobre el suelo, hasta 2 m. De altura, y descende en la zona del techo donde no se precisa calefacción.

La sensación de confort con el sistema de calefacción por suelo radiante permite la reducción de la temperatura ambiente en 2°C con respecto a los radiadores, ya que el calor circula homogéneamente desde abajo hacia arriba.

El calor que transmite una instalación de calefacción por suelo radiante es un sistema con ventajas adicionales a las ya comentadas, como seguridad ya que se elimina el peligro de quemaduras al no estar expuesto, no hay mantenimiento, pues se manejan temperaturas bajas, y un circuito estanco, temas de higiene, al repartirse el calor por radiación, se evitan las corrientes que levantan el polvo en las habitaciones además de evitar que se reseque tanto el ambiente.

3.3 BIOMASA

Hay muchas razones para considerar la instalación de calefacciones alimentadas con biomasa en grandes edificios. Además de usar energías limpias y de estar tecnológicamente probadas, también pueden ser una solución económicamente atractiva. Por otro lado, los biocombustibles son un recurso autóctono, que ofrece también una mayor seguridad de suministro y estabilidad de los precios.

En España, los recursos potenciales de biomasa, calculados por "El Plan de Fomento de las Energías Renovables" se elevan a 16,10 Mtep de los cuales 10,40 Mtep corresponden a biomasa residual y 5,70 Mtep a cultivos energéticos. Las previsiones energéticas del citado Plan para el intervalo 1999 – 2010, divididas por origen y por aplicación se distribuyen de la siguiente forma:

| Producción | | tep |
|---|-------|------------------|
| Residuos forestales (150.000 ha/a x 3 tep/ha.a) | _____ | 450.000 |
| Residuos agrícolas leñosos (875.000 ha x 1,5 t/ha x 0,26 tep/t) | _____ | 350.000 |
| Residuos agrícolas herbáceos (1.350.000 ha x 3,6 t/ha x 0,28 tep/t) | _____ | 1.350.000 |
| Residuos de industrias forestales y agrícolas | _____ | 500.000 |
| Cultivos energéticos | _____ | 3.350.000 |
| Total | _____ | 6.000.000 |
| Aplicación | | tep |
| Aplicaciones térmicas | _____ | 900.000 |
| Aplicaciones eléctricas | _____ | 5.100.000 |
| Total | _____ | 6.000.000 |

Tabla 3.3.1: Previsiones del plan de Fomento de las energías Renovables en España para el área de Biomasa.

La tecnología de las calderas de biomasa ha hecho enormes progresos en la última década. Las emisiones han caído en dos órdenes de magnitud y los rendimientos han alcanzado el mismo nivel que las calderas de gasoil o de gas. Este progreso ha incluido la fiabilidad de operación de una caldera automática.

Esta tecnología es sin embargo más cara, Los costes para las redes de calefacción centralizada son más altos, porque necesitan generalmente una sala de calderas separada y una red de distribución cara, además de un local de almacenaje del combustible, y maquinaria cara de alimentación de caldera.

Por otro lado, la calefacción con biomasa puede ser económicamente viable, pues los biocombustibles son significativamente más baratos que los combustibles fósiles. Debido a estas implicaciones, habrá que valorar la viabilidad técnica y económica de cada proyecto por separado.

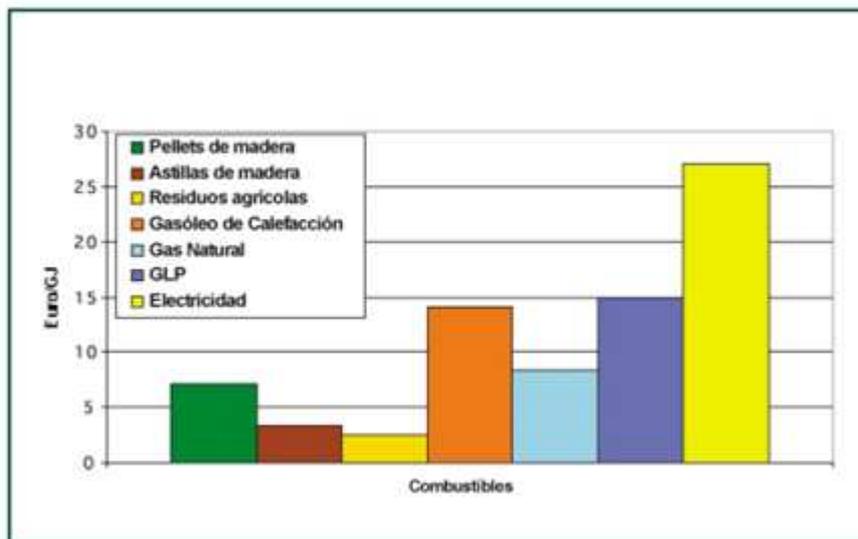


Figura 3.3.2: Diagrama de comparación de costes de combustibles [€/GJ]

Medio ambientalmente, se han hecho comparativas entre calderas, de manera que se ha demostrado que se mejoran los niveles de emisión de unos contaminantes, y empeoran en otros:

| | Gasóleo de calefacción | Gas Natural | Astillas de madera/Pellets |
|----------------------|------------------------|-------------|----------------------------|
| CO | 10 | 150 | 250 |
| SO ₂ | 350 | 20 | 20 |
| NO _x | 350 | 150 | 350 |
| Partículas | 20 | 0 | 150 |
| NM ₁₀ VOC | 5 | 2 | 10 |

Tabla 3.3.2: Emisiones en mg / kWh de energía suministrada

En esta tabla no se han tenido en cuenta las emisiones cometidas en el transporte del combustible.

Mención especial merecen las emisiones de CO₂:

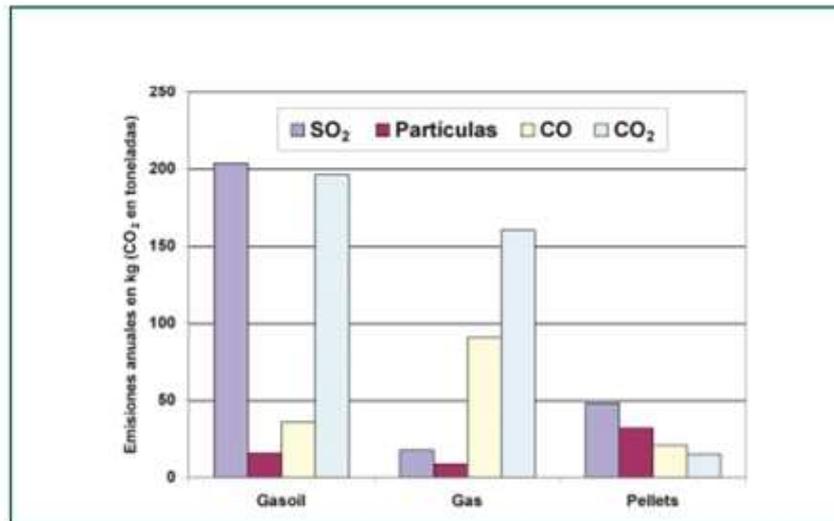


Figura 3.3.3: Diagrama de comparación de las emisiones del ciclo de vida para distintos combustibles

Como vemos, mejora notablemente esos valores.

En términos del mantenimiento, La diferencia principal entre la operación de una caldera de biomasa y una caldera de gasóleo es, que en la caldera de biomasa las cenizas se han de retirar periódicamente además de vigilar el nivel de almacenamiento del combustible. Si se utiliza una caldera sin limpieza automática del intercambiador, será necesario realizar un trabajo considerable para limpiar el polvo de cenizas en el mismo.

En términos de combustible, vemos las propiedades de los principalmente usados:

| | Pellets de madera | Astillas de madera seca | Residuos agroindustriales |
|---------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| Poder calorífico inferior | 17,0 GJ/t | 13,4 GJ/t | 14,6 - 16,7 GJ/t |
| - por kg | 4,7 kWh/kg | 3,7 kWh/kg | 4,0 - 4,7 kWh/kg |
| - por m ³ | 3.077 kWh/ m ³ | 744 kWh/ m ³ | 744 - 2.500 kWh/ m ³ |
| Humedad (b.s.) | 8 % | 25 % | 10 - 40 % |
| Densidad | 650 kg/m ³ | 200 kg/m ³ | 200 - 500 kg/m ³ |
| Contenido de cenizas | 0,5 % | 1 % | 1 - 2 % |

Tabla 3.3.3: Datos básicos de los biocombustibles para calefacción

Teniendo en cuenta estos valores, y siempre que la caldera lo admita, podemos tener en cuenta volumen de combustible y residuo, datos que,

indirectamente van a encarecer la instalación, el uso, y el mantenimiento de la misma.

4. ENERGÍA SOLAR DISPONIBLE

El Sol se compone, principalmente, de hidrógeno (90%) y helio (7%). En él se producen fusiones nucleares en que el primero de ellos se transforma en el segundo, por este proceso, el 0,73% de la materia se convierte en energía, que se manifiesta en forma de rayos gamma. Estas ondas, interactúan con la materia solar y se van tornando en radiaciones de diferente amplitud: ultravioleta (UV), visible (V) e infrarroja (IR).

La radiación solar es la energía procedente del Sol en forma de ondas electromagnéticas, capaces de viajar por el vacío del espacio, posee una elevada cantidad de energía, susceptible de ser convertida en trabajo. Esta es bastante constante a lo largo de todo el año, con valores en torno a 1353 W/m^2 , que varía debido a la ligera excentricidad que posee la tierra, la cual hace que la distancia entre esta y el Sol, varíe.

La radiación que alcanza la superficie terrestre queda reducida a unos 1000 W/m^2 , por el efecto de absorción, reflexión y difusión de la materia atmosférica (nubes, polvo, vapor de agua, polución, aerosoles, dióxido de carbono y otros gases). De ahí que los estándares de los paneles fotovoltaicos tomen esta radiación como referencia, indicando bajo esta condición las especificaciones técnicas de generación.

Los datos que han sido tomados para el cálculo de las instalaciones, y como así lo indica el programa f-chart empleado, han sido tomados de la base de datos del IDAE, calculados bajo el método de Eduardo Lorenzo, método que no se explicará por su complejidad, y por no ser objeto del presente proyecto.

4.1 INFLUENCIA DE LA ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN.

La posición idónea de los captadores, sería en posición perpendicular a la radiación solar de cada instante del día, y tenida en cuenta en cada día del año, para lo cual haría falta un seguidor solar, cosa que no es viable en la mayoría de los proyectos, mucho más por su precio.

La solución tomada para este problema consiste en tomar la posición óptima media para todo el año, que coincide en poner los paneles orientados hacia el sur, y con una inclinación igual a la latitud del lugar, siendo el ángulo de inclinación el indicado en la figura, tomando como 0° la horizontal y 90° la vertical.



Figura 4.1.1: Representación colocación módulo solar

Además existen mas factores que afectan a la radiación que es capaz de absorber el captador, como es el ángulo de desviación con respecto del sur, llamado ángulo de azimut, definido como el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del captador y el meridiano del lugar, con un valor de 0° para la orientación Sur, de -90° para la orientación Este y de 90° para la orientación Oeste.

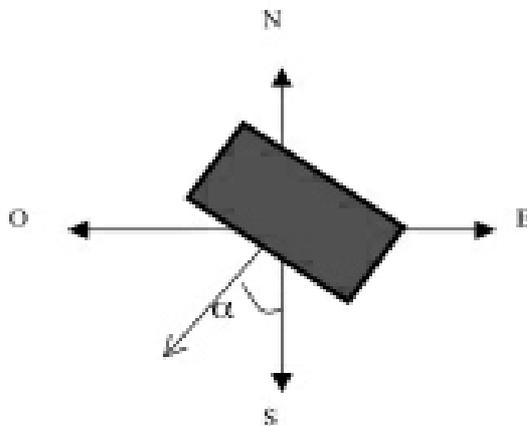


Figura 4.1.2: Representación del módulo solar según el ángulo de azimut

Así, a partir del siguiente gráfico podemos obtener el rango de pérdidas que presentará la instalación, o lo que se llama el dimensionamiento del campo solar:

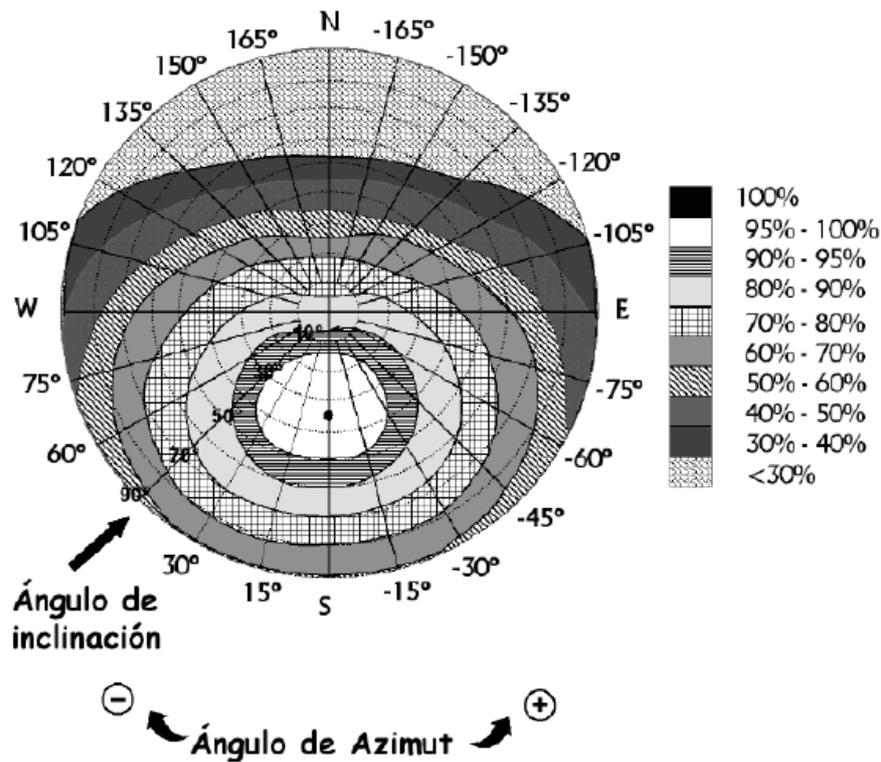


Figura 4.1.3: Gráfico de pérdidas según ángulo de azimut

Con el ábaco anterior podemos calcular aproximadamente las pérdidas debidas a la desviación frente al sur y las pérdidas por inclinación.

Cuando calculemos el ángulo de azimut nos situamos en el ábaco, recorreremos la línea que une el ángulo de azimut con el centro y elegimos el punto de corte con la curva del ángulo de inclinación donde aportemos más energía. Esto nos proporciona un dato del porcentaje de pérdidas que habrá que compensar aumentando la cantidad de captadores solares. Dato que se tiene en cuenta en el cálculo bajo el método f-chart.

Otra pérdida importante, y que es frecuente que se produzca, es la pérdida por sombras que ejercen los propios paneles, una fila sobre la de más atrás. Así, el IDAE expone un método de cálculo que expondremos más adelante, cuando calculemos la instalación y que se basa en trigonometría básica.

De cualquier manera, El Documento Básico HE-4 Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria del Código Técnico de la Edificación establece unos valores de pérdida límite, de manera que la orientación e inclinación del sistema de captación serán tales que las pérdidas respecto al óptimo, sean inferiores a los límites de la tabla siguiente:

| CASO | Orientación e inclinación | Sombras | Total |
|--------------|---------------------------|---------|-------|
| General | 10% | 10% | 15% |
| Superpuestos | 20% | 15% | 30% |
| Integrados | 40% | 20% | 50% |

Tabla 4.1.1: Valores pérdida límite según CTE HE-4

Se considera integración arquitectónica cuando los captadores cumplen una función energética y arquitectónica, y sustituyen elementos constructivos convencionales. Se considera superposición arquitectónica cuando la colocación de captadores se realiza paralela a la envolvente del edificio, no aceptándose la disposición horizontal con el fin de favorecer la autolimpieza de los módulos.

El DB HE4 del CTE establece como orientación óptima el Sur y la inclinación, dependiendo del periodo de utilización. Para una demanda constante anual, la inclinación óptima es la de la latitud geográfica. Para una demanda preferente en invierno, la inclinación sería la de la latitud geográfica más 10° . Para una demanda preferente en verano, la inclinación sería la de la latitud geográfica menos 10° .

Los cálculos se han realizado con la ayuda de un programa basado en el método f-chart.

Se estudiarán las demandas energéticas, calculando y diseñando los componentes de la instalación, así como su funcionamiento.

También se realizará el análisis del beneficio medioambiental con el desarrollo de la nueva instalación, mediante el cálculo de la reducción del consumo de combustibles fósiles, así como las emisiones de CO_2 y de gases contaminantes.

Asimismo se desarrollará un estudio económico, en el que se realizará una comparativa de costes con los sistemas tradicionales.

5. NECESIDADES ENERGÉTICAS

5.1 EMPLAZAMIENTO

Se situará en la ciudad de Madrid, con las siguientes coordenadas:

Latitud: 40°25'08" N

Longitud: 3°41'31" O

Altitud: 655 msnm

| RADIACIÓN HORIZONTAL | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|-------|------|------|------|
| [MJ/m ² /día] | | | | | | | | | | | | |
| Provincia | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Sept. | Oct. | Nov. | Dic. |
| Madrid | 6,7 | 10,6 | 13,6 | 18,8 | 20,9 | 23,5 | 26,0 | 23,1 | 16,9 | 11,4 | 7,5 | 5,9 |

Tabla 5.1.1: Radiación horizontal mensual (Fuente: IDAE)

| ALTITUD [m] | LATITUD [°] | VARIAC. DIURNA [°C] | HUMEDAD RELATIVA [%] | TEMPERAT. MINIMA HISTORICA [°C] | TEMPERAT. MÍNIMA EN INVIERNO [°C] | GRADOS DIA NOV. /MAR. | GRADOS DIA ANUAL | VELOCID. DEL VIENTO [Km/h] | ZONA CLIMÁT. |
|-------------|-------------|---------------------|----------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|------------------|----------------------------|--------------|
| 667 | 40,4 | 15 | 42 | -16 | -3 | 1259,5 | 1404,9 | 10 | IV |

Tabla 5.1.2: Datos relevantes Madrid

| TEMPERATURA AMBIENTE EN HORAS DE SOL [°C] | | | | | | | | | | | |
|---|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|-------|------|------|------|
| Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Sept. | Oct. | Nov. | Dic. |
| 6 | 8 | 11 | 13 | 18 | 23 | 28 | 26 | 21 | 15 | 11 | 7 |
| TEMPERATURA AMBIENTE [°C] | | | | | | | | | | | |
| Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Sept. | Oct. | Nov. | Dic. |
| 4,9 | 6,5 | 10 | 13 | 15,7 | 20,6 | 24,2 | 23,6 | 19,8 | 14 | 8,9 | 5,6 |
| TEMPERATURA DE AGUA DE RED [°C] | | | | | | | | | | | |
| Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Sept. | Oct. | Nov. | Dic. |
| 6 | 7 | 9 | 11 | 12 | 13 | 14 | 13 | 12 | 11 | 9 | 6 |

Tabla 5.1.3: Datos relevantes de temperatura Madrid

5.2 DESCRIPCIÓN

Se trata de un modelo de edificio, unidad básica reproducible, que lo forma dos bloques de 4 viviendas cada uno.

Los contenedores empleados serán los recipientes de carga para el transporte marítimo, fluvial o terrestre entre otros. Se trata de unidades estancas que protegen las mercancías de la climatología y que están fabricadas de acuerdo con la normativa ISO (*International Standardization Organization*), en concreto, ISO-668.

Según especificaciones constructivas no se podrá superponer mas de 5 contenedores, por lo que el edificio cumple, pues se ha pensado en 4 alturas.

Los contenedores normalizados el ancho se fija en 8 pies (2,44 metros), eligiendo los de 6 pulgadas (2,90 m) de alto y 40 pies (12,19 m) de largo.

Las paredes estarán formadas por:

Metal: 3mm
 Corcho: 100mm
 Madera: 50mm

Se emplearán ventanas SGG CLIMALIT PLUS cuyo catálogo se adjunta en Anexos.

El edificio esta formado por 8 casas iguales, con la siguiente distribución interior:

| Estancia | Superficie (m2) |
|----------|-----------------|
| baño 1 | 4,28 |
| salón | 12,41 |

| | |
|------------------|-------|
| despacho | 5,35 |
| baño 2 | 4,28 |
| Dormitorio prin. | 11,77 |
| Dormitorio sec. | 10,70 |
| Cocina | 10,70 |
| Hall | 4,28 |

Tabla 5.2.1: Superficie útil de las estancias de las viviendas

Tabla 5.2.2: Superficie útil de vivienda y bloque

5.3 LEGISLACIÓN Y NORMATIVA APLICABLE.

La instalación ha sido diseñada conforme al Reglamento de Instalaciones.

Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITE), aprobado por el Real Decreto 1027/2007 de 20 de Julio.

Este Reglamento constituye el marco normativo básico por el que se regulan las exigencias de eficiencia energética y de seguridad que deben cumplir las instalaciones térmicas.

Así mismo se normativas afectan de la instalación y que a continuación

| Estancia | Superficie (m2) |
|------------------|-----------------|
| vivienda | 55,21 |
| Superficie total | 441,7 |

cumple cuantas a partes concretas especialmente las se relacionan:

Real Decreto 314/2006 por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. Es el marco normativo español por el que se regulan las exigencias básicas de calidad que deben cumplir los edificios, incluidas sus instalaciones, para satisfacer una serie de requisitos básicos de seguridad y habitabilidad.

Plan General de Ordenación Urbana de Santander sobre la Captación y el Aprovechamiento de la Energía Solar Térmica del Ayuntamiento de Santander.

- Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura en Instalaciones de Energía Solar Térmica del IDAE. Cuyo objetivo es establecer las condiciones técnicas para acceder a las ayudas establecidas en las instalaciones solares térmicas.
- Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.
- Real Decreto 865/2003, por el que se establecen los criterios higiénicosanitarios para la prevención y control de la legionelosis y el Real Decreto 1751/1998.
- Reglamento de aparatos a presión.
- Normas UNE de obligado cumplimiento.
- Documentos Técnicos de Instalaciones en la Edificación. DTIE 1.01
- Preparación de agua caliente para usos sanitarios.
- UNE 100-155:2004 Como calcular componentes como el vaso de expansión

5.4 COMPONENTES DE LA INSTALCIÓN

COLECTOR SOLAR

Una instalación de energía solar térmica funciona empleando el siguiente concepto básico. Si se pone una placa de un material conductor al sol, pintado de negro, observamos que su temperatura aumenta, de manera que cede calor a su entorno.

Si mejoramos el sistema introduciendo esa placa en una caja que la aíse por la parte de detrás y los lados, y ponemos un vidrio en la parte frontal, con el fin de que entren los rayos del sol, la placa se calentará y cederá su calor al aire contenido en ella, de manera que no saldría debido a que el vidrio atrapa la radiación infrarroja que emite la placa, empleando el conocido efecto invernadero.

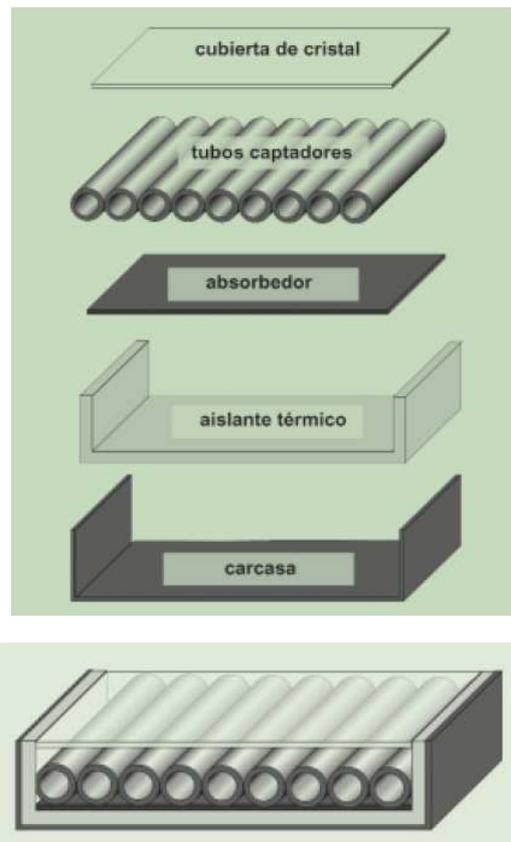


Figura 5.4.1: Componentes de un colector solar térmico

Si metemos un circuito de agua por su interior, de un material que conduzca muy bien el calor, y hacemos pasar un fluido a través de él, de manera que se obligue a la máxima exposición del agua al calor, obtendremos una ganancia en el fluido asombrosa.

Colectores solares planos:

Son los más extendidos comercialmente debido a su reducido coste. Su temperatura de trabajo son 60ª, temperatura de uso de ACS, suelo radiante, etc.

Estas son sus distintas partes:

- Cubierta exterior: Habitualmente es un cristal de vidrio simple, aunque también puede encontrarse cubiertas con cristal doble o incluso de materiales plásticos. Su función es producir el efecto invernadero, reducir las pérdidas de calor y hacer estanco el colector.
- Absorbedor: Suele estar constituido por una placa metálica sobre la que se encuentra soldada una tubería de cobre formando un serpentín. La

función de la placa es absorber la máxima radiación solar posible y ceder el calor acumulado a la tubería que conduce el líquido. La gran superficie de contacto con el exterior del serpentín favorece el intercambio de calor entre la placa y el fluido circulante. Para favorecer la absorción de calor, la superficie de la placa expuesta al sol se suele recubrir de pintura negra.

La placa cede calor al serpentín de tubos que está soldado a ella. Progresivamente, el fluido que circula por el interior del serpentín aumenta su temperatura hasta alcanzar la temperatura de trabajo del colector.

Debido a la casuística de cada proyecto, se ha adaptado la tecnología de manera que los hay verticales, y horizontales.

- Aislante térmico: Recubre todos los laterales y la parte posterior del colector, reduciendo al mínimo la pérdida de calor a través de la carcasa. Puede emplearse un aislante corriente, como lana de vidrio, poliuretano, etc.
- Carcasa: Es la caja que contiene todos los componentes del colector. Proporciona rigidez al conjunto y mantiene su interior sellado y a salvo de las inclemencias atmosféricas. Generalmente es de aluminio, debido a su poco peso y su gran resistencia a la corrosión.

Para multiplicar este efecto, y obtener elevar más la temperatura del fluido se colocan varios paneles en serie, de manera que el mismo caudal se caliente cada vez más, hasta obtener la temperatura deseada. A esto se le llama batería de captadores, y se trata de poner varios captadores en serie. Se puede poner un número limitado de paneles en serie, dato que marca el fabricante. Se presentan el esquema de conexión siguiente:

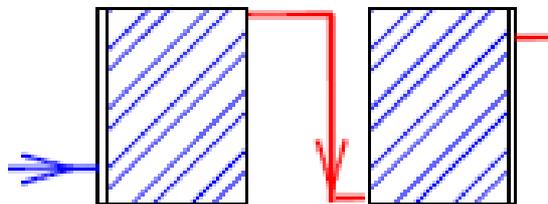


Figura 5.4.2: Esquema de interconexión de captadores en batería

Para calentar mas caudal de fluido habría que instalar varias baterías en paralelo, de manera que una tubería vaya sirviendo de agua a todas las baterías, cambiando para ello el diámetro en función del caudal, y de la misma manera, a la salida de las baterías, que va recogiendo el agua caliente.

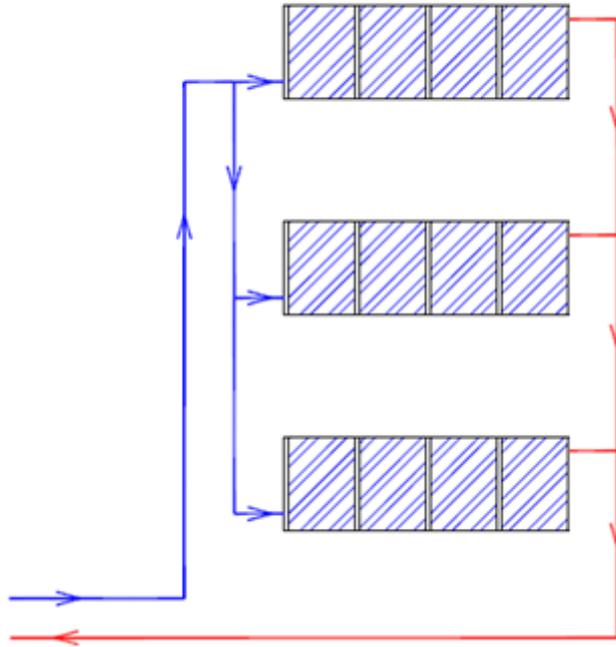


Figura 5.4.3: Esquema conexión baterías con retorno invertido.

Cada batería de captadores cuenta con una válvula purgadora automática, pues en verano, debido a las altas temperaturas que alcanza el fluido, parte puede evaporarse, introduciendo aire en el circuito e impidiendo que la bomba de circulación funcione correctamente, se recaliente, etc. De manera que se purga automáticamente, en presencia de vapor.

Fluido caloportador

La energía térmica generada en el colector debe ser transmitida a otra parte del sistema para que se transforme en energía útil. Con este fin se utiliza un fluido caloportador, capaz de transportar la energía al exterior del colector, con destino a un intercambiador o a un depósito acumulador.

Se pueden utilizar diversos tipos de fluidos caloportadores, cada uno con sus ventajas e inconvenientes.

Agua natural

Es el único tipo de fluido que se puede utilizar en circuito abierto, para calentar el agua de una piscina o para agua caliente sanitaria, por ejemplo. Un inconveniente es el riesgo de congelación o de ebullición del fluido.

Agua con anticongelante

El agua con una parte de anticongelante evita el inconveniente de posibles congelaciones. Su capacidad de absorber calor, no obstante, es inferior a la del agua natural.

Fluidos orgánicos

Se trata de líquidos orgánicos sintéticos, o bien de ciertos derivados del petróleo. Protegen el circuito primario tanto de la congelación como de la ebullición, pues son estables a altas temperaturas.

Aceite de silicona

Se trata de un fluido muy estable en cualquier condición de temperatura. No es tóxico ni inflamable. Tiene como único inconveniente su elevado coste.

Sistemas de circulación

Se encargan de transferir el calor obtenido en el colector hasta el punto de consumo. Según el tipo de sistema de circulación, tendremos instalaciones con circulación natural o forzada, y circuitos abiertos o cerrados.

El diámetro de las tuberías de una instalación debe ser el mínimo posible para limitar las pérdidas de temperatura. Los materiales más usados son el cobre, por sus buenas cualidades técnicas y bajo coste, y los materiales plásticos, siempre que puedan soportar temperaturas de hasta 120° C.

Acumuladores de ACS

La función del depósito acumulador es almacenar el agua caliente generada en los colectores para posibilitar su uso posterior. Este elemento es necesario, pues normalmente el sistema no es tan grande como para abastecer instantáneamente el consumo de agua exigido.

Los materiales más comúnmente utilizados en su construcción son el acero inoxidable, la fibra de vidrio reforzada y el acero con protección interior contra la corrosión.

Existen varios tipos, y de varios tamaños. En nuestro caso, que es para ACS y calefacción, existe depósitos de inercia (uno dentro del otro) de manera que se reducen las pérdidas. Al tratarse de unos consumos un poco grandes, en este caso elegiremos tomar dos depósitos independientes.

Sistema de control y regulación

Asegura que toda la instalación funciona de manera eficiente y con la temperatura deseada en el punto de consumo. En la práctica, consiste en sensores de temperatura y termostatos conectados a las bombas que impulsan el fluido caloportador y el agua a través de la instalación.

Un elemento muy importante es el vaso de expansión, ya que pueden llegar la posición de estancamiento, se emplean para evitar pérdidas, contienen las dilataciones del fluido y el vapor que se puede formar. En general se suelen usar cerrados en este tipo de instalaciones, ya que es complicado, en muchas ocasiones, poner el vaso de expansión abierto por encima de los captadores.

Otro sistema importante de seguridad será el sistema de disipación de calor que tendrá que incorporar el circuito primario, pues podría poner en peligro ciertos elementos, acortando drásticamente su vida útil.

Circuito cerrado

Es el más utilizado para instalaciones de ACS. En este caso existen dos circuitos separados: el que contiene el fluido caloportador (primario) y aquel por el que circula el agua caliente de consumo (secundario). El calor del fluido caloportador es cedido por medio de un intercambiador de calor al circuito secundario.

Tomaremos este diseño, debido al peligro heladas en invierno, de manera que hay que añadir anticongelante en el circuito primario. Los dos circuitos, por lo tanto, no tienen conexión directa.

Ventajas:

- Podemos elegir el fluido más adecuado para el circuito primario, añadir anticongelante, emplear algún fluido especial, etc.

Desventajas:

- Se trata de una instalación más cara y compleja que en el caso del circuito abierto.

Circulación forzada.

En este caso, el agua se mueve a través del sistema por medio de bombas, ya que la pérdida de carga es demasiado grande como para que pueda circular de forma natural.

Ventajas:

- Aumentan las posibilidades de regulación del sistema a voluntad del usuario.

Desventajas:

- Es necesario disponer de energía eléctrica de la red para alimentar las bombas.

Al ser un circuito cerrado con apoyo a calefacción nos aparece un nuevo elemento, un intercambiador de calor. Este hay que ponerlo pues el circuito de calefacción es un circuito cerrado.

5.5 NECESIDADES ACS

Para hacer el correcto dimensionado de la instalación, se ha de suponer el consumo de agua caliente diario que tendrá el edificio. Este depende directamente del número de personas que lo habiten.

La temperatura del agua caliente resultante viene establecida por el Documento Técnico de Instalaciones en la Edificación (DTIE 1.01), que indica que para edificios destinados a uso residencial con sistemas dotados de acumulación de ACS se preparará a 60°C, temperatura suficiente para acabar con los brotes de legionela.

El cálculo de la carga térmica para agua caliente sanitaria se realiza con el método seguido por la documentación del Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja temperatura, de instalaciones de energía solar térmica, el cual lo realiza teniendo la siguiente expresión:

Para el cálculo de consumo diario de ACS a 60°, el Documento Básico HE-4 establece unos mínimos con los que habría que cumplir.

Según las especificaciones técnicas de diseño, la media de consumo de ACS diario por persona ronda los 35 l/día para una instalación de viviendas multifamiliares. Puesto que se pretende contribuir con un máximo de energía solar, aceptable y asumible por los clientes, se procederá a sopesar el número de captadores destinados a calentamiento de agua.

Así, el consumo diario será, para una media de 3 personas/vivienda, contando con 8 viviendas:

| | |
|-------------------------------------|-----|
| Número normal de usuarios: | 24 |
| Consumo medio por usuario [L/día]: | 35 |
| Consumo a máxima ocupación [L/día]: | 840 |
| Temperatura de utilización [°C]: | 60 |

| | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Sept. | Oct. | Nov. | Dic. | Anual |
|-----------------|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|-------|------|------|------|-------|
| % de ocupación: | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

Tabla 5.5.1: Datos relativos de necesidades energéticas

El programa f-chart indica que el consumo de ACS corresponde a 840L/día, y teniendo en cuenta el porcentaje de ocupación en cada mes del año, que se supondrá 100% como factor de seguridad, y la temperatura de utilización, que,

teniendo en cuenta que se utiliza a 45°C, y las pérdidas producidas en el transporte del fluido caloportador, y las propias que se generan en el intercambio de calor, y en el propio depósito, se pedirá que se caliente a 60°C. Esta temperatura en el depósito es la mínima para evitar brotes de legionela.

Por consiguiente, el f-chart, pide la definición del colector seleccionado, el cual te permite tener una base de datos. Así, consultando las especificaciones técnicas del captador seleccionado, adjunto en los anexos, calculará el rendimiento del captador:

Curva de rendimiento del captador: $r = 0,807 - 3,37 * (t_e - t_a) / I_t$

- t_e : Temperatura de entrada del fluido al captador [°C]
- t_a : Temperatura media ambiente [°C]
- I_t : Radiación [W/m²]

| | |
|--|--------------------|
| Fabricante del captador: | Soliker |
| Modelo de captador: | Unisol Plus EVO |
| Factor de eficiencia del captador: | 0,807 |
| Coefficiente global de pérdida [W/(m ² ·°C)]: | 3,37 |
| Superficie útil del captador [m ²]: | 2,37 |

Tabla 5.5.2: Datos relativos del captador

Por consiguiente podemos observar que los datos que emplea la fórmula del rendimiento, fórmula propia del método f-chart, tiene en cuenta datos de radiación, temperatura ambiente y temperatura de la entrada del fluido del captador, datos que han sido tomados de la base de datos del IDAE, y que ya he expresado anteriormente. Así mostrará un rendimiento mayor o menor en función del mes en el que trabaje.

El factor de eficiencia del captador o factor óptico nos da el máximo rendimiento que se puede obtener de un colector solar determinado. Este factor óptico nos marca la cantidad de energía que pasa del cristal hacia el absolvedor.

El coeficiente global de pérdida, se corresponde con un valor de transmitancia térmica que indica la energía que permite que se pierda según el material y la disposición de los conductos internos, en el intercambio de energía entre el fluido caloportador (foco caliente) y la temperatura ambiente (foco frío).

Se ha seleccionado el colector UNISOL PLUS EVO, cuyo equipo esta homologado, adjunto el BOE en el cual se acredita si homologación, cuyas características son:

Dimensiones:

Longitud: 2045 mm.

Ancho: 1275 mm.
 Altura: 100 mm.
 Área de apertura: 2,36 m².
 Área de absolvedor: 2,37 m².
 Área total: 2,61 m².

Especificaciones generales:

Peso: 55 kg.
 Presión de funcionamiento Máx.: 10 bar.

| | |
|----------|--------------------------|
| η_o | 0,775 |
| a1 | 3,727 W/m ² K |

| Tm – Ta en K | 400 W/m ² | 700 W/m ² | 1.000 W/m ² |
|--------------|----------------------|----------------------|------------------------|
| 10 | 641 | 1.190 | 1.739 |
| 30 | 446 | 995 | 1544 |
| 50 | 233 | 782 | 1330 |

Tabla 5.5.3: Especificaciones generales UNISOL PLUS EVO

Ahora, procedemos con el cálculo energético, donde se expondrán los consumos mensuales del edificio, el incremento de temperatura necesario para obtener la temperatura de uso, en función de la temperatura del agua de red, y la energía necesaria en termias, unidad de energía, equivalente a 1 millón de calorías, de manera que en el caso del agua, es simplemente el numero de m³ de agua que hay que calentar por el incremento de temperatura al que se va a someter.

| | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Sept. | Oct. | Nov. | Dic. | Anual |
|--|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Consumo mes de agua [m ³]: | 22,3 | 20,2 | 22,3 | 21,6 | 22,3 | 21,6 | 22,3 | 22,3 | 21,6 | 22,3 | 21,6 | 22,3 | 262,8 |
| Incremento de temp. [°C]: | 54 | 53 | 51 | 49 | 48 | 47 | 46 | 47 | 48 | 49 | 51 | 54 | 49,8 |
| Energía nec. [Termias]: | 1.205 | 1.068 | 1.138 | 1.058 | 1.071 | 1.015 | 1.027 | 1.049 | 1.037 | 1.094 | 1.102 | 1.205 | 13.070 |

Tabla 5.5.4: Cálculo energético

| | |
|-------------------------------------|--------|
| Número de captadores: | 8 |
| Área total de captadores [m2]: | 19,0 |
| Volumen de acumulación [L]: | 3.000 |
| Volumen / Área captadores [L/m2]: | 158,23 |
| Ahorro en ACS [Termias] | 11.035 |
| Radiación inclinada (Termias/ año): | 28.328 |
| Rendimiento [%]: | 77,5 |
| Inclinación óptima [°]: | 30,0 |
| Inclinación adoptada [°]: | 40,5 |
| Desorientación o azimut [°]: | 0 |

Podemos observar que el programa nos permite modificar las casillas coloreadas de amarillo, de manera que según vas modificando el número de paneles, tal y como exige el CTE – HE-4, que la relación entre el volumen de acumulación, y el área de los captadores debe comprenderse entre 50 y 180.

En el caso de una comunidad, conviene obtener valores altos de acumulación, pues es posible que en instantes del día haya mucho consumo en poco tiempo, y si no hay un volumen de acumulación aceptable, haremos que no haya suficiente agua calentada con los captadores, y tenga que actuar el sistema de apoyo.

Ahora, tras comprobar los ahorros obtenidos por el programa, y la estimación de número de colectores ideales que presenta, obtenemos que un vamos a obtener los siguientes resultados:

| Meses | Energía Necesaria [Termias]: | Ahorros [Termias]: | Ahorros [%]: | Ahorros [Termias]: | Paneles ideales para 100 % de ahorro | Paneles sobrantes | Excedente ACS | Índice exceso ACS |
|---------|------------------------------|--------------------|--------------|--------------------|--------------------------------------|-------------------|---------------|-------------------|
| Enero | 1.205 | 637 | 52,9 | 637 | 42 | 0 | -568 | 0,53 |
| Febrero | 1.068 | 820 | 76,7 | 820 | 15 | 0 | -249 | 0,77 |
| Marzo | 1.138 | 999 | 87,8 | 999 | 11 | 0 | -139 | 0,88 |
| Abril | 1.058 | 1.058 | 100,0 | 1.092 | 8 | 0 | 34 | 1,03 |
| Mayo | 1.071 | 1.071 | 100,0 | 1.139 | 7 | 1 | 68 | 1,06 |
| Junio | 1.015 | 1.015 | 100,0 | 1.156 | 7 | 1 | 141 | 1,14 |
| Julio | 1.027 | 1.027 | 100,0 | 1.269 | 5 | 3 | 243 | 1,24 |
| Agosto | 1.049 | 1.049 | 100,0 | 1.277 | 6 | 2 | 228 | 1,22 |
| Sept. | 1.037 | 1.037 | 100,0 | 1.136 | 7 | 1 | 99 | 1,10 |
| Oct. | 1.094 | 989 | 90,5 | 989 | 10 | 0 | -104 | 0,90 |
| Nov. | 1.102 | 731 | 66,3 | 731 | 28 | 0 | -371 | 0,66 |
| Dic. | 1.205 | 601 | 49,8 | 601 | 44 | 0 | -605 | 0,50 |

| | | | | | | | | |
|-------|--------|--------|------|---|---|---|-------|-------|
| Anual | 13.070 | 11.035 | 85,3 | - | - | - | -1223 | 11,02 |
|-------|--------|--------|------|---|---|---|-------|-------|

Tabla 5.5.5: Aporte energético sistema solar

- Cobertura solar [Termias]: Se refiere a la parte del consumo que se cubre con energía solar.
- Ahorros [%] se refiere al porcentaje del consumo que se cubre con energía solar basado en el método f-chart.

El método f-Chart, desarrollado por Klein y Beckman (1977) es uno de los pioneros y sus parámetros de diseño han sido adoptados y utilizados por los otros métodos. Se basa en el cálculo de un factor solar f , que es la división entre la potencia solar instantánea captada y la carga puntual requerida en tanto por cien. Representa la cobertura del sistema solar, es decir, su contribución a la aportación de calor total necesario para cubrir las cargas térmicas, y su rendimiento medio en un largo periodo de tiempo.

$$f = \frac{Q_{capt}}{Q_{nec}}$$

Fórmula 5.5.1: Cálculo factor solar f

El ahorro global de la instalación, será la media de los Ahorros obtenidos en cada mes del año.

- Ahorro [termias]: es la energía en termias que es capaz de producir la instalación. Sus valores se obtienen de calcular el porcentaje correspondiente a los Ahorros [%] de la energía necesaria en ese mes.
- Paneles ideales para 100 % de ahorro: hace referencia al número de paneles que haría falta para cubrir el 100% del consumo en cada mes.

Se obtiene calculando los captadores que hacen falta para cubrir Q_{nec} . Para ello dividiremos Q_{nec} entre la energía que es capaz de absorber cada panel, según la radiación solar presente, y el rendimiento del colector.

- Paneles sobrantes: Es el número de paneles que nos sobran, es decir, los que tendríamos que quitar para poder cubrir el 100% del consumo.

Se da cuando la energía generada por los captadores es mayor que la energía necesaria, de manera que será tan fácil como calcular ese excedente, y dividirlo entre la capacidad de generación de un solo panel en ese mes, y con su rendimiento correspondiente.

- Excedente ACS [Termias]: Se refiere al excedente de energía que tenemos que evacuar. Cuando ese valor es negativo, es porque falta energía.
- Índice exceso ACS: es la relación, en tanto por uno, entre la energía necesaria y la energía generada.

En este cuadro podemos observar que si instalamos 8 colectores, el ahorro que vamos a obtener, presumiblemente, será del 85% del consumo total. Dándonos cuenta que tenemos excesos en los meses de verano, los cuales no han sido considerados, porque no han sido utilizados para tal fin.

La cobertura solar calculada con este método esta un poco sobrestimada, ya que no se tienen en cuenta la absorción de calor de los componentes del sistema solar hasta alcanzar la temperatura de trabajo.

NECESIDADES Y AHORROS (ACS)

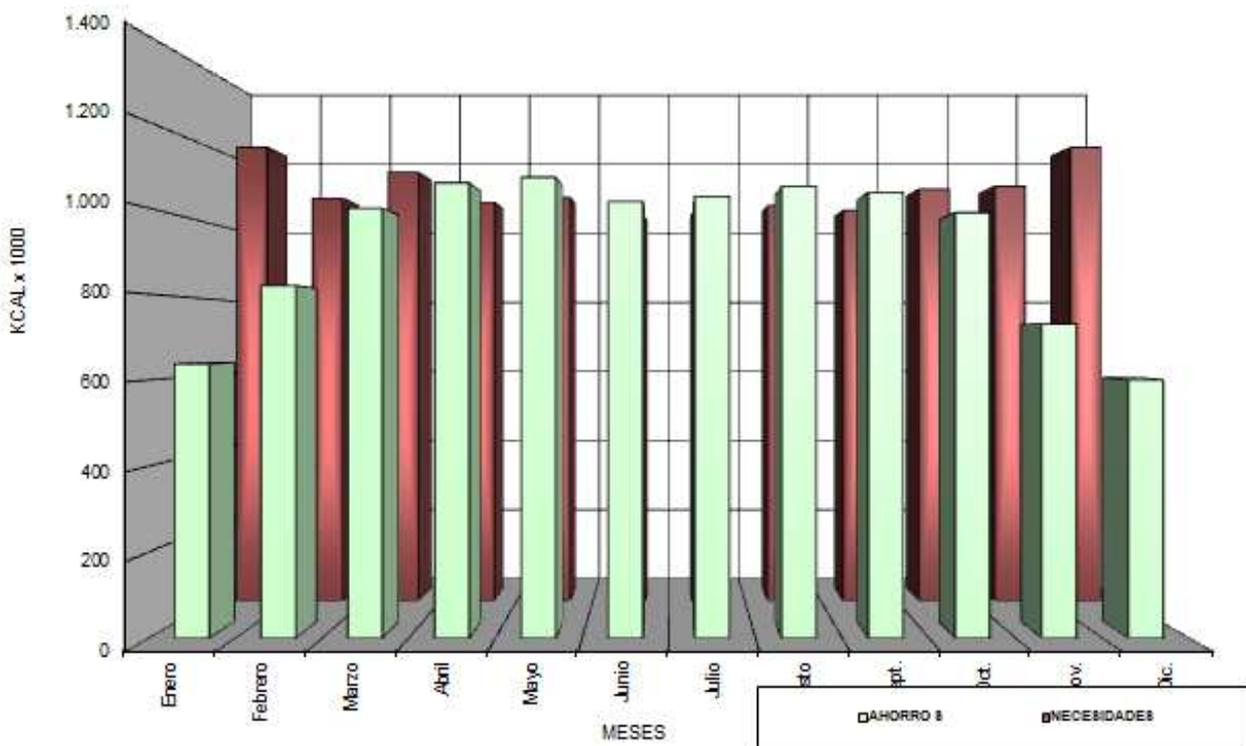


Tabla 5.5.6: Diagrama Necesidades vs. Ahorro (ACS)

5.6 NECESIDADES SISTEMA CLIMATIZACIÓN

5.6.1 CONDICIONES INTERIORES DE CÁLCULO. DESCRIPCIÓN

Para conseguir un bienestar térmico aplicaremos la ITE 02.2, teniendo en cuenta los datos que nos expresa el programa sacados de la fuente del IDAE.

Teniendo en cuenta las condiciones que nos marca el RITE, obtenemos los siguientes datos de condiciones internas:

- Temperatura operativa de invierno 20 a 23°C.
- Temperatura operativa de verano 23 a 25°C.
- Velocidad media del aire en verano. 0,18 a 0,24 m/s.

-Caudal de ventilación: mínimo 1 renovación/hora ITE 02.2.2.

Se tomaran las medidas adecuadas para que como consecuencia del funcionamiento de las instalaciones, en las zonas de normal ocupación de los locales habitables, los niveles sonoros en el ambiente interior no sean superiores a 40 dBA durante el día y a 30 dBA durante la noche.

Se trata de la reutilización de container, que están formados por una camisa de acero, que supondremos lisa. Después, como aislante se emplearán planchas de corcho, que irán revestidas con madera vista.

| Material | espesor (cm) | λ (W/m·K) |
|-----------------------|--------------|-------------------|
| Chapa Acero | 3 | 58 |
| Corcho | 50 | 0,042 |
| Madera | 40 | 0,14 |
| Ventana Climalit plus | - | - |

Tabla 5.6.1.1: Resistencias térmicas materiales de construcción de la vivienda

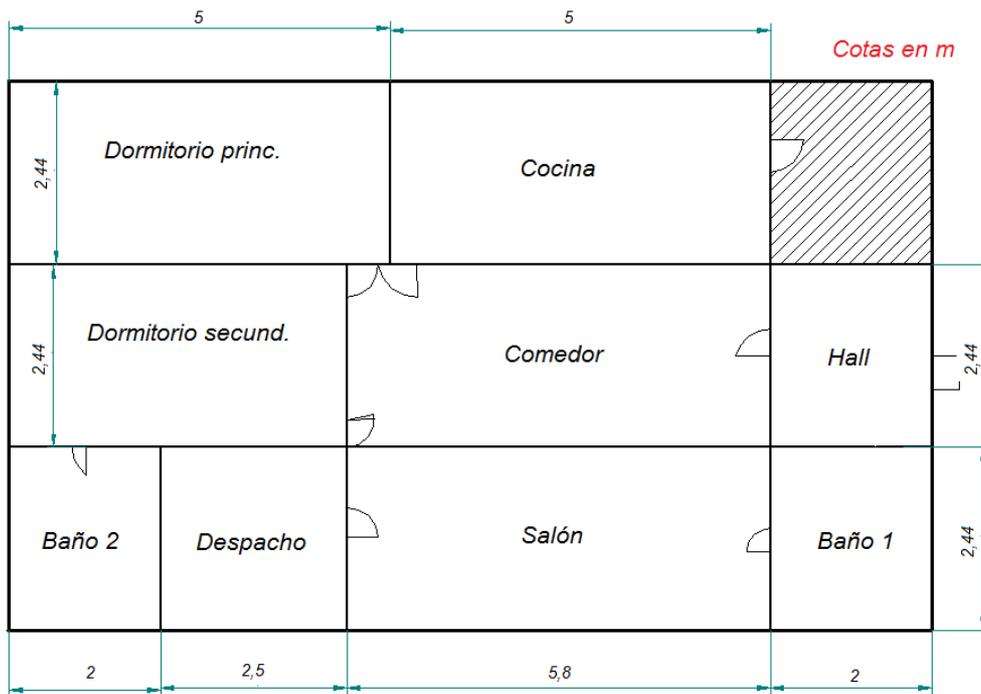


Figura 5.6.1.1: Vivienda tipo, acotada, según estancias

5.6.2 COEFICIENTES GLOBALES K_g DEL EDIFICIO.

Como temperaturas de referencia tomaremos las siguientes:

| T^a | int (°C) | ext (°C) |
|----------|----------|----------|
| Invierno | 21 | 0 |
| Verano | 24 | 34 |

Tabla 5.6.2.1: Temperaturas de diseño de instalación

El cálculo de coeficientes K de transmisión de los cerramientos se realiza de acuerdo con todo lo especificado en la Norma Básica CTE, sobre condiciones térmicas en los edificios, a la que nos remite la ITE 03.4.

Según el apartado 1.7 del anexo 1 de la citada norma se empleará la fórmula siguiente:

$$K_g = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum_{capas} \frac{L_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_e}}$$

Fórmula 5.6.2.1: Cálculo carga térmica del edificio.

donde:

- k = coeficiente de transmisión en $W/m^2 \cdot ^\circ C$
- $1/h_i$ = Resistencia térmica superficial interior en $m^2 \cdot ^\circ C/W$
- $1/h_e$ = Resistencia térmica superficial exterior en $m^2 \cdot ^\circ C/W$
- e = espesor del componente n del cerramiento en m
- λ = conductividad térmica del componente en $W/m \cdot ^\circ C$

Los valores de $1/h_i$ y $1/h_e$ se tomarán aplicando la tabla 2.1 del Anexo 2 de la Norma Básica NB CT-79 y los valores de las conductividades térmicas para cada uno de los materiales se especifica adelante.

5.6.3 DESCRIPCIÓN CÁLCULO CARGAS TÉRMICAS

La estimación de la potencia térmica máxima para calefacción se calcula para la situación más desfavorable: temperatura mínima, radiación solar nula, mínima presencia de personas, luces y máquinas. Para la calefacción las cargas son pérdidas de calor, al mantenerse una temperatura ambiente superior a la temperatura exterior.

Las cargas térmicas que se tienen en cuenta para calefacción son:

- Convección en el exterior de la envolvente del edificio.
- Cargas por conducción a través de cerramientos.
- Carga debida a ventilación.
- Carga debida a infiltraciones.
- Cargas internas. Las cargas internas no serán ganancias.

CARGAS TÉRMICAS ENVOLVELTE

Las cargas térmicas a través de las paredes, techo y suelo se calculan con la siguiente fórmula:

$$Q = A_{\text{cerra}} \cdot U \cdot (T - T_{sL})$$

Fórmula 5.6.3.1: Carga térmica a través de los cerramientos.

Q: Carga térmica a través de paredes, techos y suelos (W)

A_{cerra} : Superficie del cerramiento (m^2)

U: Coeficiente global de transmisión de calor ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

T: temperatura seca del recinto adyacente ($^\circ C$)

T_{sL} : temperatura del local ($^\circ C$)

Se considerará que no existe transmisión de calor a través de techo y suelo, pues para calefacción se empleará suelo radiante, el cual está aislado completamente para que no haya transferencia de calor hacia ningún lado que no sea el interior de la habitación.

Así el techo de la última vivienda contará también con refuerzo de aislante, pudiendo asumir las pérdidas que se realizan por el mismo con despreciables.

-Coeficiente global de transferencia de calor:

El coeficiente global de transferencia de calor se calcula con la siguiente expresión:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum_{capas} \frac{L_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_e}}$$

Fórmula 5.6.3.2: Coeficiente de transmisión

| Material | espesor (cm) | λ (W/m·K) | R (m ² ·K/W) |
|-------------|--------------|-------------------|-------------------------|
| Chapa Acero | 3 | 58 | 0,001 |
| Corcho | 50 | 0,042 | 11,905 |
| Madera | 40 | 0,14 | 2,857 |
| Ventana | 0,5 | 0,7 | 0,714 |

Tabla 5.6.3.1: Características térmicas materiales de cerramientos. De donde R se obtiene a través de:

$$R = \frac{L_i}{\lambda_i}$$

Fórmula 5.6.3.3: Resistencia térmica

De esta manera, tomando el valor de $R_{ventana}$ que da el fabricante en el catálogo, adjuntado, R_{conv} , obtenido sumando los valores que nos indica la normativa, en las unidades adecuadas y realizando el sumatorio indicado en la fórmula, obtenemos la siguiente R_{pared} , obtenemos los siguientes valores:

| R_{conv} (CTE) | R_{pared} | $R_{ventana}$ | |
|------------------|-------------|---------------|-----------------------|
| 0,170 | 14,762 | 0,714 | (m ² ·K/W) |

Tabla 5.6.3.2: Resistencia térmica pared, ventana y convección externa e interna según RITE

Para calcular el calor por conducción que se transfiere por los cerramientos, tendremos en cuenta las siguientes premisas:

- Se considerará suelos y techos totalmente aislados, debido al sobreaislamiento que se pone para evitar que en el suelo radiante, haya pérdidas hacia fuera de la vivienda.
- La transferencia de calor entre habitaciones aclimatadas es nula.
- Las paredes que dan al pasillo común, se toma como no aclimatado, y como si tuviera las mismas condiciones que las paredes exteriores debido a que es poca superficie

Para calcular la transferencia de calor a través de las paredes, se tendrá en cuenta que las paredes, y las ventanas están en paralelo, y por tanto habrá que calcular las pérdidas de calor por separado a través de la pared, teniendo en cuenta superficie de pared, y R_{pared} y a través de la ventana, teniendo en cuenta superficie de ventana y $R_{ventana}$, y sumando los dos valores obtenidos:

| Estancia | Sup. Pared (m ²) | Q_{sens} pared (W) |
|------------------|------------------------------|----------------------|
| baño 1 | 11,1 | 15,61 |
| salón | 12,34 | 17,35 |
| despacho | 5,05 | 7,10 |
| baño 2 | 11,1 | 15,61 |
| Dormitorio prin. | 18,7 | 26,30 |
| Dormitorio sec. | 4,66 | 6,55 |
| Cocina | 8,5 | 11,95 |
| Hall | 3,1 | 4,36 |

Tabla 5.6.3.3: Carga térmica a través de la pared

| Estancia | Sup. Cristal (m ²) | Q_{sens} ventana(W) |
|----------|--------------------------------|-----------------------|
|----------|--------------------------------|-----------------------|

| | | |
|------------------|------|-------|
| baño 1 | 0 | 0,00 |
| salón | 2,16 | 51,30 |
| despacho | 1,2 | 28,50 |
| baño 2 | 0 | 0,00 |
| Dormitorio prin. | 2,4 | 57,00 |
| Dormitorio sec. | 1,44 | 34,20 |
| Cocina | 4 | 94,99 |
| Hall | 3 | 71,24 |

Tabla 5.6.3.4: Carga térmica a través de la ventana.

| Estancia | Qsens (W) |
|------------------|-----------|
| baño 1 | 15,61 |
| salón | 68,65 |
| despacho | 35,60 |
| baño 2 | 15,61 |
| Dormitorio prin. | 83,29 |
| Dormitorio sec. | 40,75 |
| Cocina | 106,95 |
| Hall | 75,60 |
| TOTAL | 442,06 |

Tabla 5.6.3.5: Carga térmica total por cerramientos.

$$Q_{sen} = - 442.06 \text{ W}$$

CARGA POR VENTILACIÓN

Las cargas debidas a la ventilación se dividen en carga latente y sensible, con las siguientes expresiones:

$$Q_{sensv} = V_{vent} \cdot C_p \cdot \rho \cdot (T_{se} - T_{sL}) \cdot f_{sim}$$

Fórmula 5.6.3.4: Carga térmica sensible ventilación.

Q_{sen} : carga sensible (W)

V_{vent} : caudal de ventilación (m^3/s)

C_p : calor específico del aire, $C_p = 1000 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$

ρ : densidad del aire de ventilación, $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$

T_{se} : temperatura seca exterior ($^\circ\text{C}$), $T_{se} = 0^\circ\text{C}$

T_{sL} : temperatura seca del local ($^\circ\text{C}$), $T_{sL} = 21^\circ\text{C}$

f_{sim} : factor de simultaneidad $f_{sim} = 0,5$

Para calcular el Volumen de ventilación, hay que tomar, según la normativa, una renovación de todo el aire de la sala en 1 hora, de manera que queda:

$$V_{vent} = \frac{V(m^3)}{3600 (seg)}$$

Tomando el volumen de cada sala, obtenemos los siguientes valores:

| Estancia | Volumen (m3) | Qvent (W) |
|------------------|--------------|-----------|
| baño 1 | 47,508 | 166,28 |
| salón | 179,974 | 629,91 |
| despacho | 33,4375 | 117,03 |
| baño 2 | 47,508 | 166,28 |
| Dormitorio prin. | 248,347 | 869,21 |
| Dormitorio sec. | 65,27 | 228,45 |
| Cocina | 133,75 | 468,13 |
| Hall | 26,108 | 91,38 |
| Total | - | 2736,66 |

Tabla 5.6.3.6: Carga Térmica sensible por ventilación según la estancia

$$Q_{lat} = V_{vent} \cdot h_{fg} \cdot \rho \cdot (W_e - W_L) \cdot f_{sim}$$

Fórmula 5.6.3.5: Carga térmica latente por ventilación

Q_{lat} : carga latente (W)

h_{fg} : calor latente de cambio de fase del agua, $h_{fg} = 2,45 \cdot 10^6$ J/kg

W_e : relación de humedad del aire exterior (kg/kg); $W_e = 4 \cdot 10^{-3}$ kg/kg.

W_L : relación de humedad del aire del local (kg/kg), $W_L = 6,2 \cdot 10^{-3}$ kg/kg.

| Estancia | Volumen (m3) | Q latente (W) |
|----------|--------------|---------------|
| baño 1 | 47,508 | 42,68 |
| salón | 179,974 | 161,68 |
| despacho | 33,4375 | 30,04 |

| | | |
|------------------|---------|--------|
| baño 2 | 47,508 | 42,68 |
| Dormitorio prin. | 248,347 | 223,10 |
| Dormitorio sec. | 65,27 | 58,63 |
| Cocina | 133,75 | 120,15 |
| Hall | 26,108 | 23,45 |
| Total | - | 702,41 |

Tabla 5.6.3.7: Carga Térmica latente por ventilación según la estancia

Para tener en cuenta las infiltraciones espontáneas que ocurren a través de las rendijas, enchufes, ventanas, etc. Se tomará, como estima la normativa, un 10% del valor de calor obtenido en los cálculos de valores sensibles y latentes. Se multiplicará todo por un factor 0,5 de simultaneidad, pues esa ventilación no se hará a la vez en todas las viviendas del edificio.

Así, obtendremos el valor definitivo con la siguiente expresión:

$$Q_{total\ vent} = (Q_{sen} + Q_{lat}) \times 1,1 \times 0,5 = - 1.891,49\ W$$

CARGAS POR APARATOS ELÉCTRICOS

Aquí haremos una estimación del calor cedido por los aparatos eléctricos que se emplean habitualmente en el hogar, tomándose el valor de la potencia que tiene el aparato, y multiplicándolo por un factor de uso, que hace referencia a la fracción de uso.

| Estancia | Concepto | Aparatos (W) | Factor uso | Q _{ap.} (W) |
|------------------|-------------|--------------|------------|----------------------|
| baño 1 | - | 0 | 0,0 | 0 |
| salón | TV | 130 | 0,2 | 26 |
| despacho | Portátil | 100 | 0,1 | 10 |
| baño 2 | - | 0 | 0,0 | 0 |
| Dormitorio prin. | - | 0 | 0,0 | 0 |
| Dormitorio sec. | - | 0 | 0,3 | 0 |
| Cocina | frigorífico | 1000 | 0,6 | 600 |
| Hall | - | 0 | 0,0 | 0 |
| Total | - | - | - | 636 |

Tabla 5.6.3.8: Carga Térmica aportada por electrodomésticos según estancia

También se tendrá en cuenta, del mismo modo la luminaria de la casa:

| Estancia | nº bomb 24W | Factor uso | Q _{lum} (W) |
|------------------|-------------|------------|----------------------|
| baño 1 | 3 | 0,20 | 14,4 |
| salón | 6 | 0,40 | 57,6 |
| despacho | 2 | 0,20 | 9,6 |
| baño 2 | 2 | 0,20 | 9,6 |
| Dormitorio prin. | 2 | 0,10 | 4,8 |
| Dormitorio sec. | 3 | 0,30 | 21,6 |
| Cocina | 5 | 0,40 | 48 |
| Hall | 2 | 0,10 | 4,8 |
| Total | - | - | 170,4 |

Tabla 5.6.3.9: Carga Térmica aportada por iluminación

Por último, se tendrán en cuenta el calor que emiten las personas que ocupan el local. En primera instancia, se toma como valor 100W/persona, y nuevamente se debe multiplicar por un factor de simultaneidad:

| Estancia | Personas | Factor ocup. | Qpers. (W) |
|------------------|----------|--------------|------------|
| baño 1 | 1 | 0 | 0 |
| salón | 3 | 0 | 60 |
| despacho | 1 | 0 | 15 |
| baño 2 | 1 | 0 | 0 |
| Dormitorio prin. | 2 | 0 | 60 |
| Dormitorio sec. | 1 | 0 | 30 |
| Cocina | 2 | 0 | 20 |
| Hall | 1 | 0 | 0 |
| Total | - | - | 185 |

Tabla 5.6.3.10: Carga sensible y latente aportada por ocupante según estancia

De esta manera el calor total generado por aparatos eléctricos, luminaria, y personas que ocupan la vivienda será:

$$Q_{ocup} = 636 + 170,4 + 185 = +991,4 \text{ W}$$

De esta manera, se espera que, haya una carga térmica total en el edificio de:

$$Q_{cargat} = Q_{ocup} + Q_{total\ vent} + Q_{sen} = 1.307,03 \text{ W.}$$

Si tomamos un factor de seguridad de 1,1 este queda:

$$Q_{cargat} = 1.307,03 \times 1,1 = 1.437,73 \text{ W}$$

Si tenemos en cuenta las 8 viviendas que conforman el bloque, y le damos un factor de simultaneidad de 0,85 por la variabilidad de las cargas térmica, esto supone:

$$Q_{cargabloque} = 1.437,73 \times 8 \times 0,85 = 9.78 \text{ kW}$$

Un dato importante a la hora de calcular las cargas térmicas del edificio, es saber el Kg global del edificio. Así vamos a tomar como carga térmica global no solo la de la envolvente, sino también las de ocupación y ventilación, de manera que se obtiene:

$$Kg = \frac{Q_{cargabloque}}{A \cdot (T_{int} - T_{ext})} = 0,95 \text{ [Kcal/(h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{°C)}$$

Cálculo de la instalación.

Comenzamos a poner los datos característicos de las viviendas. En total 441m²

| | |
|--|-------|
| Superficie a calefactar [m ²]: | 441,7 |
| KG según CT-79 [Kcal/(h · m ² · °C)]: | 0,95 |
| Temperatura interior del local [°C]: | 21 |
| Temperatura de ida [°C]: | 45 |
| Temperatura de retorno [°C]: | 35 |

| Meses | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Sept. | Oct. | Nov. | Dic. | Anual |
|--------------|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|-------|------|------|------|-------|
| % de utiliz: | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 0 | 0 | 0 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

pues se han tenido las estancias de todas las casas, salvando los cuartos de baño.

Hemos tomado el valor de Kg del edificio, incluyendo cargas de ventilación y ocupación calculado anteriormente, con el fin de que nos salga unos valores más reales de necesidades. Como sabemos, el suelo radiante trabaja a 45°C y vamos a tomar una diferencia de temperatura entre ida y retorno de 10°C.

Pondremos como % de ocupación en los meses de verano 0%, aunque esto no es necesario, ya que el programa se daría cuenta que en estos meses iba a necesitar energía, pues la temperatura externa excede a la interna.

Tabla 5.6.3.11: Datos relativos a las necesidades energéticas

Por consiguiente, nos pide el programa que especifiquemos el tipo de panel y sus características con el fin de calcular su rendimiento. De esta manera

tomaremos el mismo panel que tomamos anteriormente para calcular las necesidades de ACS.

Curva de rendimiento del captador: $r = 0,807 - 3,37 * (t_e - t_a) / I_t$

t_e : Temperatura de entrada del fluido al captador [°C]
 t_a : Temperatura media ambiente [°C]
 I_t : Radiación [W/m²]

| | |
|--|-----------------|
| Fabricante del captador: | Soliker |
| Modelo de captador: | Unisol Plus EVO |
| Factor de eficiencia del captador: | 0,807 |
| Coefficiente global de pérdida [W/(m ² .°C)]: | 3,370 |
| Superficie útil del captador [m ²]: | 2,370 |

Tabla 5.6.3.12: Datos relativos al captador

Ahora procederá el programa a calcular las necesidades energéticas según la temperatura escogida como temperatura interna. La manera que tiene de calcular la necesidad energética es a través del número de grados que hace falta elevar diariamente la temperatura. Toma como referencia la diferencia de temperatura interna y la media del día, de manera que de media habrá que elevar esos grados al día. También tiene en cuenta porcentaje de ocupación. Los grados-día que la calefacción tendrá que elevar en un mes, corresponde a multiplicar esa diferencia de temperatura por el número de días que tiene cada mes.

Después para calcular la energía en termias, no tiene más que hacer:

$$EN = \frac{(Kg \left[\frac{Kcal}{h \cdot m^2 \cdot ^\circ C} \right] \cdot 24 [h] \cdot A [m^2] \cdot GDia [^\circ C])}{1000 Kcal / termias}$$

Fórmula 5.6.3.6: Energía solar aportada en termias

| Meses | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Sept. | Oct. | Nov. | Dic. | Anual |
|---------------------------|--------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|
| Grados-día [°C]: | 499 | 406 | 341 | 240 | 164 | 12 | 0 | 0 | 36 | 217 | 363 | 477 | 2755,8 |
| Energía Neces. [Termias]: | 12.923 | 10.512 | 8.829 | 6.214 | 4.254 | 0 | 0 | 0 | 932 | 5.618 | 9.399 | 12.361 | 71.042 |

Tabla 5.6.3.13: Cálculo energético

De manera que podemos buscar la cantidad de captadores que se adaptan mejor a las necesidades que se pretenden cubrir. Podemos comprobar que intentar cubrir más de un 50% de calefacción con estos sistemas, es demasiado caro. Así, haremos caso a algunas guías como la del FENERCOM, que recomienda cubrir entre un 30% y un 50%

| | |
|-------------------------------------|--------|
| Número de captadores: | 20 |
| Área total de captadores [m2]: | 47,4 |
| Volumen de acumulación [L]: | 2.000 |
| Volumen / Área captadores [L/m2]: | 42,2 |
| Ahorro en ACS [Termias] | 15.162 |
| Ahorro en SR [Termias] | 18.625 |
| Ahorro total [Termias] | 33.788 |
| Radiación inclinada (Termias/ año): | 70.819 |
| Rendimiento [%]: | 47,7 |
| Inclinación óptima [°]: | 31,6 |
| Inclinación adoptada [°]: | 40 |
| Desorientación o azimut [°]: | 0 |

| Meses | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Sept. | Oct. | Nov. | Dic. | Anual |
|------------------------------|--------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|
| Energía Necesaria [Termias]: | 12.923 | 10.512 | 8.829 | 6.214 | 4.254 | 0 | 0 | 0 | 932 | 5.618 | 9.399 | 12.361 | 71.042 |

Hemos calculado la acumulación atendiendo a los valores que exige la normativa, de manera que cumpla:

$$25L < V < 50L$$

Además tomamos el valor de azimut como 0° ya que la azotea es plana y permite la orientación sur de los colectores.

En el siguiente recuadro podremos comprobar el porcentaje de ahorro obtenido en función de las necesidades energéticas de cada mes.

| | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-----|--------|
| Ahorros [Termias]: | 1.077 | 1.920 | 2.560 | 3.082 | 3.196 | 141 | 243 | 228 | 1.253 | 2.438 | 1.538 | 950 | 18.625 |
| Ahorros [%]: | 8,3 | 18,3 | 29,0 | 49,6 | 75,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 134,4 | 43,4 | 16,4 | 7,7 | 42,5 |

Tabla 5.6.3.14: Aporte energético sistema solar

Podemos comprobar que el ahorro total que podemos producir con 20 captadores y 2000L de acumulación, está en torno a 42,5%. El programa nos da unas orientaciones de las necesidades totales:

| Meses | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Sept. | Oct. | Nov. | Dic. | Anual |
|--------------------------------------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|------|--------|
| Ahorros [Termias]: | 1.077 | 1.920 | 2.560 | 3.082 | 2.963 | 141 | 243 | 228 | 1.031 | 2.438 | 1.538 | 950 | 18.171 |
| Paneles ideales para 100 % de ahorro | 217 | 182 | 141 | 99 | 69 | 3 | 0 | 0 | 9 | 98 | 168 | 213 | |
| Paneles que sobran | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 | 20 | 20 | 11 | 0 | 0 | 0 | |

Tabla 5.6.3.15: Aporte energético ideal

Podemos comprobar que el número de paneles necesario para obtener un 100% de ahorro en calefacción, requiere un número de colectores elevadísimo, que hace totalmente inviable económicamente el proyecto.

Observamos que a pesar de imponer un % de ocupación de 0% en junio, julio y agosto, seguimos obteniendo valores de ahorro, esto es debido a que el programa traslada los excesos que se producen en la instalación para ACS a la de calefacción, debido a que se prioriza el uso de ACS.

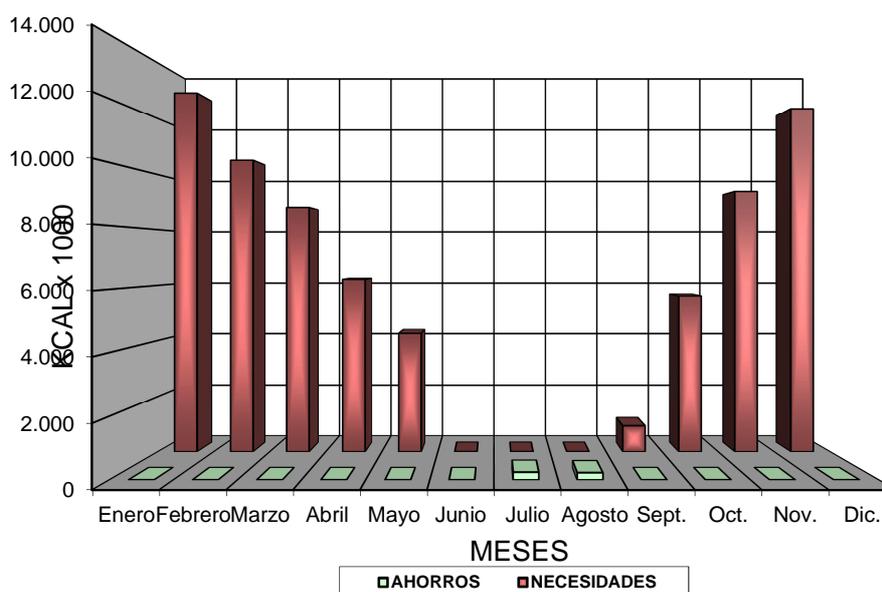


Figura 5.6.3.1: Diagrama de necesidades vs. Ahorro (Calefacción)

En realidad habría muchos mas excedentes en verano, ya que toda la instalación sigue funcionando en verano. Según el programa, nos sobran 2 o 3 paneles de la parte de ACS, y faltaría añadir lo que sobra de los 20 colectores de calefacción.

Esto genera un problema importante, pues tenemos un excedente muy grande de energía. Por ellos se podrían tomar diversas soluciones, como emplear máquinas de absorción, calentamiento de piscinas, o incluso tapar los paneles de manera que generen la menor cantidad de energía posible.

Ya que el sistema de absorción es demasiado caro, y el emplazamiento dispone de piscina, emplearemos dicha piscina para evacuar dichos excedentes, los cuales valdrán para templar un poco la piscina.

5.7 CALCULO PISCINA

El siguiente cuadro nos va a presentar los datos a tener en cuenta de la zona escogida.

| | |
|--------------------------------------|--------|
| Provincia: | Madrid |
| Latitud: | 40,4 |
| Temperatura mínima histórica [°C]: | -16 |
| Humedad relativa media exterior [%]: | 42 |
| Velocidad media del viento [Km/h]: | 10 |

| Meses | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Sept. | Oct. | Nov. | Dic. | Anual |
|--|-------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| Tª. media ambiente [°C]: | 6 | 8 | 11 | 13 | 18 | 23 | 28 | 26 | 21 | 15 | 11 | 7 | 15,6 |
| Tª. media agua red [°C]: | 6 | 7 | 9 | 11 | 12 | 13 | 14 | 13 | 12 | 11 | 9 | 6 | 10,3 |
| Radiación horizontal [MJ/m ² /día]: | 6,7 | 10,6 | 13,6 | 18,8 | 20,9 | 23,5 | 26,0 | 23,1 | 16,9 | 11,4 | 7,5 | 5,9 | 15,4 |
| Radiación horizontal [kJ/m ² /día]: | 6.700 | 10.600 | 13.600 | 18.800 | 20.900 | 23.500 | 26.000 | 23.100 | 16.900 | 11.400 | 7.500 | 5.900 | 15.408 |
| Índice de inclinación | 1,39 | 1,29 | 1,16 | 1,04 | 0,95 | 0,92 | 0,95 | 1,05 | 1,21 | 1,39 | 1,50 | 1,48 | |
| Radiación inclinada [kJ/m ² /día]: | 9.320 | 13.674 | 15.762 | 19.496 | 19.771 | 21.526 | 24.622 | 24.209 | 20.432 | 15.846 | 11.265 | 8.744 | 17.056 |
| Radiación inclinada [W/m ² /día]: | 2.589 | 3.798 | 4.378 | 5.415 | 5.492 | 5.979 | 6.839 | 6.725 | 5.676 | 4.402 | 3.129 | 2.429 | 4.738 |
| Intensidad media [w/m ²]: | 287 | 342 | 394 | 415 | 365 | 399 | 457 | 516 | 433 | 398 | 344 | 270 | |

ORIGEN DE LOS DATOS: Instituto de Diversificación y Ahorro Energético (IDAE)

Tabla 5.7.1: Datos geográficos y climatológicos

En el podemos ver que tiene en cuenta los datos de radiación horizontal, pues la piscina esta siendo calentada por el sol durante todo el día, de manera que si

no se tuviera en cuenta dicha energía, podríamos sobredimensionar la instalación, y no obtendríamos unas condiciones de confort.

Ahora, el f-chart nos pide estimar los datos relativos a las necesidades energéticas con el fin de definir volumen a calentar, temperatura a elevar, y periodos en los que hay que hacerlo. Imponemos la temperatura de 26°C, que es la temperatura máxima que permite el RITE, para piscinas descubiertas.

| | |
|--|----------|
| Ubicación de la piscina [Interior/Exterior]: | Interior |
| Superficie de la piscina [m ²]: | 180 |
| Volumen de la piscina [m ³]: | 212,04 |
| Temperatura deseada del agua [°C] | 26 |
| Temperatura del local [°C] | 30 |
| Humedad relativa del local [%]: | 30 |

| Meses | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Sept. | Oct. | Nov. | Dic. | Anual |
|------------------------|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|-------|------|------|------|-------|
| Temp. deseada [°C]: | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26,0 |
| Temp. local [°C]: | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30,0 |
| % de utilización: | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 100 | 100 | 100 | 0 | 0 | 0 | 33 |
| utilización: | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| % de tiempo sin manta: | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

Tabla 5.7.2: Datos relativos a necesidades energéticas

Teniendo en cuenta los mismos captadores solares que en el cálculo de los casos anteriores, tomando 22 captadores ya que son los que provocan excedentes, como hemos podido calcular antes, de manera que obtenemos los siguientes resultados:

| Meses | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Sept. | Oct. | Nov. | Dic. | Anual |
|--------------------------------------|-------|---------|-------|-------|------|--------|-------|--------|--------|------|------|------|--------|
| Energía Necesaria [Termias]: | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10.244 | 8.877 | 9.580 | 10.924 | 0 | 0 | 0 | 39.626 |
| Ahorros [Termias]: | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6.297 | 7.683 | 7.554 | 5.873 | 0 | 0 | 0 | 27.407 |
| Ahorros [%]: | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 61,5 | 86,6 | 78,9 | 53,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 69,2 |
| Paneles ideales para 100 % de ahorro | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 36 | 26 | 28 | 41 | 0 | 0 | 0 | |

Tabla 5.7.3: Datos de ahorro energético.

Con lo que podemos concluir que el volumen de la piscina es suficiente como para dar salida a los excedentes que los sistemas solares térmicos presentan.

En cualquier caso, habrá que tener un sistema de evacuación de calor de emergencia, pues si hubiera algún fallo, el circuito tendría que poder

refrigerarse por si mismo. Además de que en invierno la depuración de la piscina está continuamente parada, debido al alto gasto que supondría tenerla activada todo el año.

5.8 RESULTADOS

Como podemos observar, es complicado, o de otro modo, demasiado caro obtener un abastecimiento completo de las necesidades energéticas térmicas mediante energía solar, pues hay épocas del año en que la radiación no es suficiente, y es cuando mas necesitamos su aportación (el caso del suelo radiante) o por el contrario, si se dimensionara la instalación para tal fin, en verano, tendríamos que disipar toda el excedente de energía, pues los consumos que se producen en tal periodo son mínimos, mientras que las energía entregada por el sol es máxima.

Así podemos observar en el cálculo de ACS, que a pesar de poder contar con 20 colectores mas para ACS, pues esta priorizada, el programa nos indica que nos harían falta 42 colectores en enero, por lo que apenas estaríamos obteniendo un 50% de ahorro. A pesar de todo esto, podemos comprobar que tenemos una aportación anual media de un 85% de ahorro.

De manera más alarmante pasa en el calculo de calefacción, pues vemos que las necesidades son mayores, y sin embargo este sistema solo se usa en periodos de frio, por lo que los meses de mayor generación no los aprovecha, viéndose perjudicado su resultado de ahorro anual, en apenas un 42,5%.

Si estimamos la energía necesaria que demanda el edificio, y la que se es capaz de generar la instalación, obtenemos un rendimiento global de apenas un 35,3%, sin contar por supuesto, en el ahorro obtenido en el calentamiento de la piscina, pues es una manera de dar salida al excedente de calor generado en verano, aunque por otro lado, se obtenga alguna ventaja, como adelantar la temporada de baño, o su cierre.

6. CALCULO Y DISEÑO DE LA INSTALACIÓN

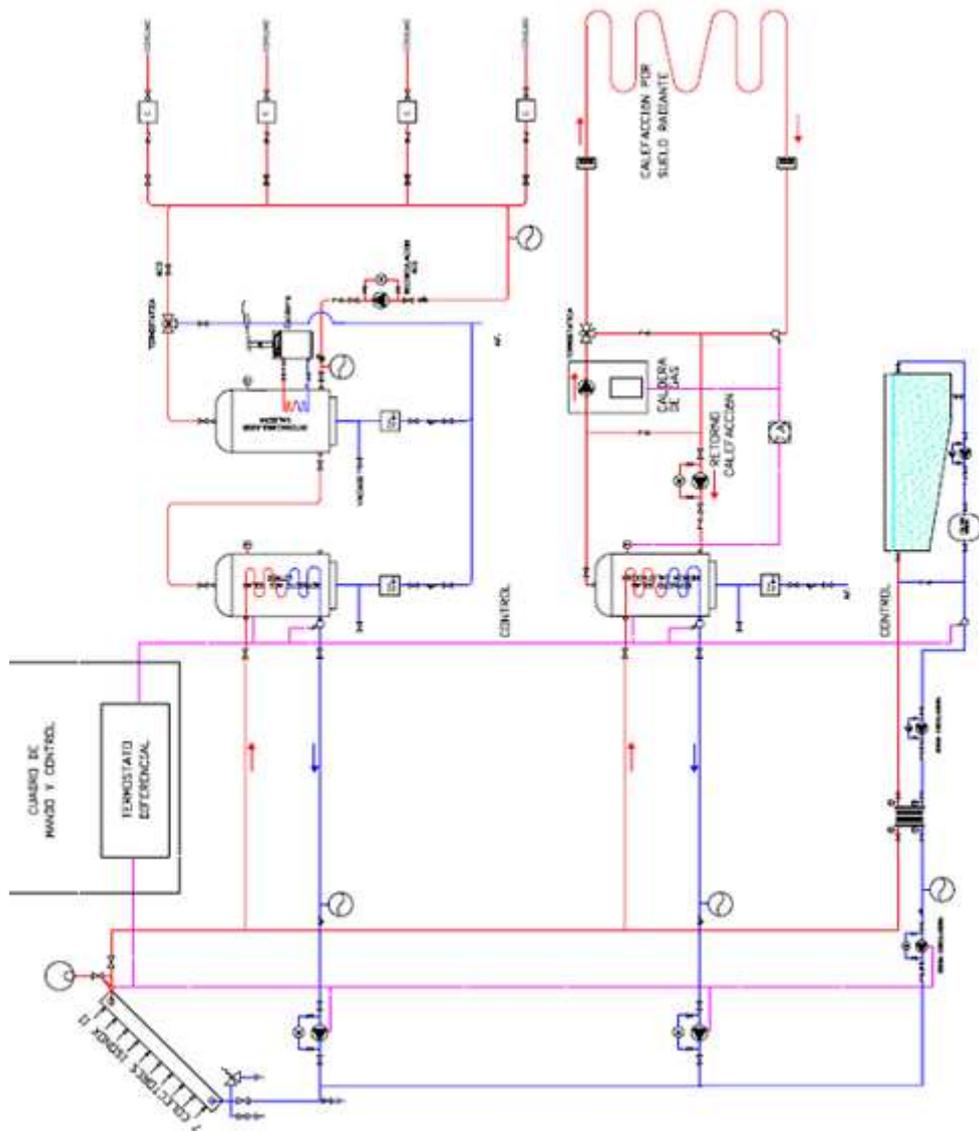


Figura 6.1: Esquema de la instalación solar térmica

Como podemos observar en el esquema del circuito hidráulico de la instalación, vemos que existe un circuito primario, que va desde los colectores hasta el intercambiador de calor.

Y un circuito secundario, el cual es el que realmente utilizamos, como puede ser la red de ACS, o el circuito de suelo radiante, en cuya entrada está la caldera, para asegurar que el líquido introducido en este circuito tenga las condiciones deseadas. En el vemos que hay tres circuitos en paralelo, uno de ACS, uno de calefacción por suelo radiante, y uno de piscina.

Estos son circuitos independientes debido al distinto uso que se le da a lo largo del año. El circuito de ACS queda abierto todo el año, el de calefacción se cierra, de manera que se de paso al de piscina.

En el esquema, se ha puesto la caldera separada, pero en realidad forman parte de una misma máquina térmica, con dos circuitos internos de calentamiento separado, pues al fin y al cabo se pueden requerir temperaturas distintas, y en momentos distintos.

Este circuito, es el más correcto para bloques de viviendas, pues si hay avería en cualquiera de ellos, puede detenerse sin ningún problema y puede repararse.

Como en las sala de calderas confluyen los circuitos de ACS y calefacción en los depósitos allí alojados, el tramo de tubería de subida y bajada a los colectores serán los mismos, diferenciándose apenas en longitud y diámetro.

6.1 CIRCUITO PRIMARIO

6.1.1 Instalación de los colectores

A priori se emplean colectores planos, los cuales son mas baratos, aunque menos eficientes que los de tubo de vacío.

| | SOLIKER UNISOL PLUS EVO | VIESSMAN VITOSOL 200T |
|--|----------------------------|--------------------------|
| Superficie de apertura (m ²) | 2,35 | 2,147 |
| Factor óptico | 0,818 | 0,767 |
| Factor perdidas Primer orden | 3,757 | 1,54 |
| Factor cuadrático de pérdidas | 0,013 | 0,0055 |

Tabla 6.1.1.1: Especificaciones colector plano y tubo de vacío

En el cuadro comparativo anterior podemos comprobar como colectores de dimensiones similares, ofrecen características distintas. Los tubos de vacío, al tener un cristal oscurecido, se puede observar que presentan un rendimiento óptico algo menor, aunque, el cambio más notable, y por el que dota a los colectores de tubo de vacío mayor eficiencia, es que al estar en su interior al vacío, la transferencia de calor al exterior se ve reducida drásticamente.

El problema que tienen los colectores de tubo de vacío es que en verano toman temperaturas más altas de las que puede soportar algunos de los elementos de la instalación, por lo que habría que tomar otras medidas de seguridad y

accionamientos correctores que encarecen la instalación y que estarían desperdiciando la energía, convirtiéndose en un problema.

Emplearemos el modelo de colector plano UNISOL PLUS EVO, con las siguientes características de uso, y cuyas especificaciones de rendimiento fueron mostradas en la tabla X.X.

| | |
|-------------------------------|------------|
| Max. N° captadores en batería | 6 |
| Rango caudales | 20-150 L/h |
| Distancia entre captadores | 75-80 mm |

Tabla 6.1.1.2: Especificaciones batería de captadores UNISOL PLUS EVO

De esta manera, teniendo en cuenta que hemos calculado las necesidades de ACS de las viviendas, hemos determinado que harán falta 8 paneles solares térmicos planos para abastecer esa demanda. Además las necesidades de calefacción, nos marcan un cálculo de 20 paneles más, que tenemos un circuito primario de 28 captadores.

De esta manera, se colocarán 7 baterías de 4 captadores cada una, de modo que quede la generación de manera distribuida. La distribución nos servirá para la conocer, por ejemplo en número de válvulas de purgado, válvulas de seguridad, válvulas de corte, así como los metros lineales de tubería que tendremos que poner en la instalación, con diámetro variable según el tramo.

Para calcular el espacio que necesitamos para la colocación de los colectores, observamos las dimensiones del panel.

| DIMENSIONES Y PESOS CAJA | PLUS EVO NPS-40111 |
|--------------------------|-----------------------|
| ÁREA TOTAL | 2,60 m ² |
| LONGITUD | 2,040 mm |
| ANCHURA | 1,270 mm |
| ALTURA | 100 mm |
| PESO | 56,5 Kg |

Tabla 6.1.1.3: Dimensiones y peso UNISOL PLUS EVO

Teniendo en cuenta que habría que tener en cuenta los grados de inclinación del sol en el momento del año en el que esté más bajo, que es cuando mayor sombra producirá el panel, de manera que aseguremos que en ningún momento del año las baterías de captadores se van a hacer sombra las de delante con las de detrás. Pues bien, el IDAE nos da la información de que hay que asegurar que no haya sombra el día 21 de diciembre, de 11:00 a 17:00, que es cuando mayor radiación solar hay en ese día, en torno a 29° de inclinación.

La distancia d , medida sobre la horizontal, entre una fila de captadores y un obstáculo de altura h , que pueda producir sombra sobre la instalación será igual o superior al valor obtenido por la expresión recogida en el pliego del IDEA:

$$d = h / \tan(61^\circ - \beta)$$

Siendo:

d = separación entre filas

h =altura del obstáculo o diferencia de altura entre la parte alta de una fila de captadores y la parte baja de la siguiente.

β = grados de inclinación del panel

$$61^\circ = 90^\circ - 29^\circ$$

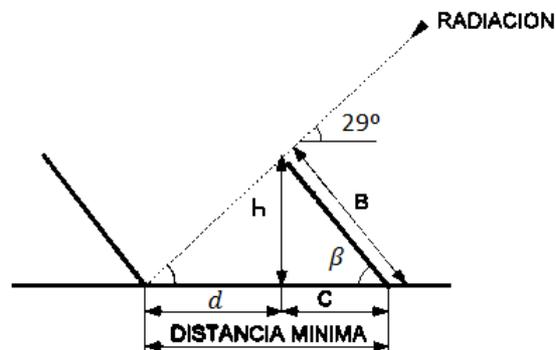


Figura 6.1.1.1: Esquema cálculo de sombras entre filas

Tomaremos como valor de la inclinación $\beta = 40^\circ$ (la latitud), como valor de h , será:

$$h = \sin(40^\circ) \cdot B$$

Siendo B la longitud del panel, que es 2.04m.

$$h = 1,31m$$

de esta manera:

$$d = \frac{1,31}{\tan(61^\circ - 40^\circ)} = 3,413m$$

Para saber la distancia mínima, hay que sumarle la distancia c , que es la proyección del panel en la horizontal:

$$C = \cos(40^\circ) \cdot 2.04 = 1.563m$$

Por tanto la distancia mínima entre panel y panel:

$$\text{Distancia mínima} = 3,413 + 1,563 = 4,976m$$

Para ver el espacio a lo ancho que tenemos en la azotea, tomamos que entre captador y captador de una batería tiene que haber 75mm de separación, y que cada panel mide 1,27m de anchura, y dejando 30 cm a cada lado de la batería para la colocación de los purgadores y llaves de cierre, vemos que cada batería ocupa:

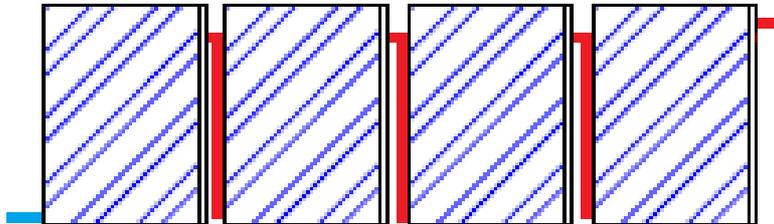


Figura 6.1.1.2: Esquema de una batería de captadores

Por ello:

$$\text{Anchura total} = 1,27 \times 4 + 0,075 \times 3 + 0,3 \times 2 = 5,905 m$$

Dándonos cuenta de que tenemos una azotea que mide de ancho 7,32m, y además colocando los paneles de la última fila bastante pegados al final de la azotea, dejando 60cm de paso, y 12,2m de longitud, y poniendo 2 baterías, vemos que la distribución queda de la siguiente manera.

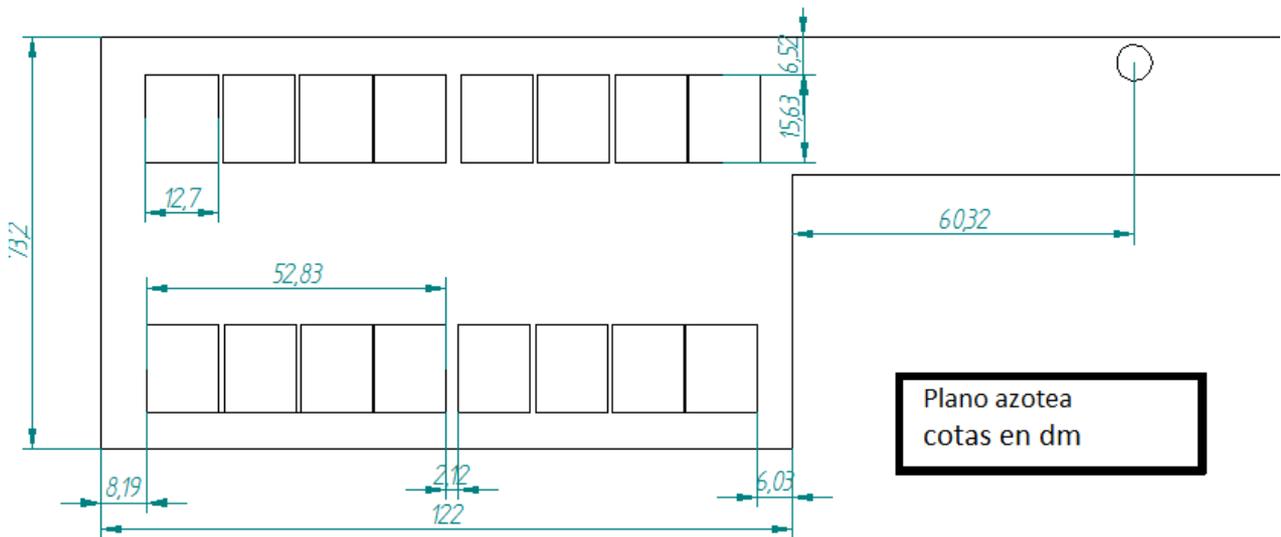


Figura 6.1.1.3: Dimensiones de la instalación en la azotea (parte izq.)

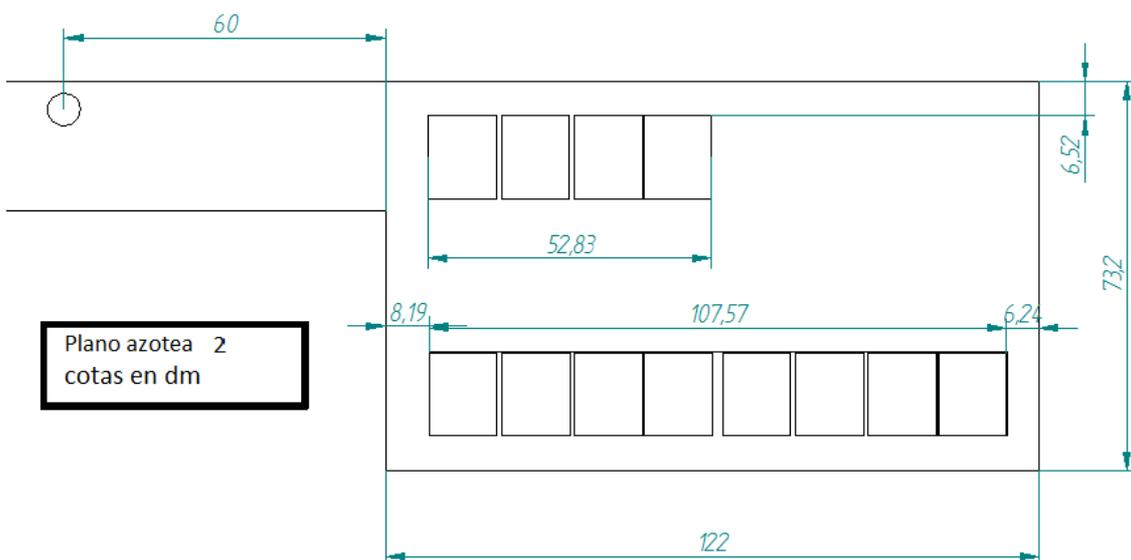


Figura 6.1.1.4: Dimensiones de la instalación en la azotea (parte dcha.)

Como podemos observar en el plano, vemos que la distribución, es desigual en un lado que en otro, ya que han salido baterías impares. Por otro lado vemos que las distancias son las correctas y que hay espacio para que el técnico opere con comodidad.

El esquema de elementos de las baterías es el siguiente:

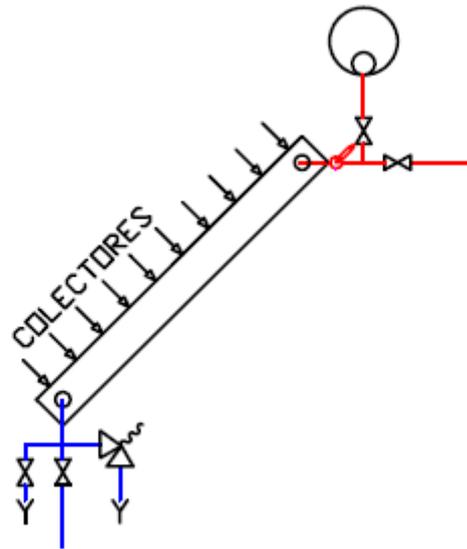


Figura 6.1.1.5: Esquema elementos de conexión de un colector

De donde podemos observar que tenemos en la tubería de entrada del colector, una válvula de corte, por si hubiera algún problema en la batería, poder aislarla, una válvula de vaciado, por si hubiera que desmontar algún colector y que lógicamente se pone en la entrada, pues es la parte baja del colector, y por gravedad se podría vaciar, y una válvula de seguridad, la cual evacuaría del sistema fluido caloportador para evitar peligros de sobrepresión.

Esta sería la lista de elementos por batería de captadores:

| | uds |
|----------------------|-----|
| Válvulas de corte | 2 |
| Válvula purgadora | 1 |
| Válvula de vaciado | 1 |
| Válvula de seguridad | 1 |

Tabla 6.1.1.4: Elementos conectados a una batería.

6.1.2 RED DE TUBERÍAS

Cada tramo de tubería alimenta un número distinto de captadores, por lo que su sección tendrá que variar, en función del caudal que tengan que llevar en su interior.

Las limitaciones que presenta el pliego de condiciones de instalaciones térmicas de baja temperatura, de manera que la pérdida de carga en el tramo no sea superior de 40 mm.c.a., además de la limitación de la velocidad de fluido de 3 m/s para tuberías en locales desocupados, y 2 m/s para locales ocupados.

Para empezar nos da una orientación, en función de la zona en la que nos encontremos, junto con los datos históricos del fluido caloportador que emplearemos y en que proporción:

| | |
|--------------------------------------|-----------------------|
| Temperatura mínima histórica (°C): | -16 |
| Riesgos de heladas: | Si |
| Fluido seleccionado: | Agua |
| Fluido seleccionado: | Agua + etilenglicol |
| Concentración de anticongelante (%): | 35 |
| Protección contra heladas: | Antihielo electrónico |
| Protección contra heladas: | Anticongelantes |

Tabla 6.1.2.1: Datos de ahorro energético

EL programa f-chart, tiene una pestaña de cálculo de tubería, en el cual puedes tener en cuenta varias consideraciones para calcular tu instalación:

Para empezar el material de las tuberías que vas a tomar. El cobre se puede soldar fácilmente, además tiene gran resistencia a la corrosión, siendo altamente dúctil y maleable; por tanto tendrán pocas incrustaciones y baja pérdida de carga. Su principal problema radica en el precio de los accesorios.

Por otro lado el acero galvanizado son más económicas, pero aguantan solo temperaturas de hasta 65°.

| | | | COBRE | | |
|-------------|----------|-------------------|---------|---------|---------|
| | | | D. Ext. | Espesor | D. Int. |
| | | | 18 | 1 | 16 |
| | | | 22 | 1 | 20 |
| | | | 28 | 1 | 26 |
| Densidad: | 996 | Kg/m ³ | 35 | 1 | 33 |
| Visc. Din.: | 0,000799 | Kg/(m·s) | 42 | 1 | 40 |
| | | | 54 | 1,5 | 51 |
| | | | 64 | 1,5 | 61 |
| | | | 76 | 1,5 | 73 |

Tabla 6.1.2.2: Diámetros y datos de las tuberías de cobre

Estos valores nos servirán para calcular la pérdida de carga del fluido a su paso por ellas.

Para poder realizar los cálculos de caudal en cada tramo de tubería, se tendrá en cuenta, como referencia, el caudal de diseño del circuito primario. Este se calcula a partir del caudal unitario del captador, multiplicándolo por su superficie.

Según normativa del RITE, nos indica que el valor Q [$L/h \cdot m^2$] tiene que estar comprendido entre 43,2 y 57,6. Un valor típico y aceptado suele ser 50 [$L/h \cdot m^2$]. Hay que comprobar en el catálogo del fabricante, que es posible introducir ese caudal. Así si multiplicamos 50 [$L/h \cdot m^2$] por $2,37m^2$ de superficie que tiene el captador, vemos que nos sale un caudal unitario de 118,5 L/h, valor que está dentro de lo estipulado por el fabricante, que es 150 L/h.

Por tanto partimos de un caudal de diseño del circuito primario de 3318 L/h, ya que tenemos 28 captadores.

El diámetro de tuberías se seleccionará de forma que la velocidad de circulación del fluido sea inferior a 2 m/s cuando la tubería discorra por locales habitados, y de 3 m/s cuando el trazado sea exterior o por locales no habitados. Esto se debe al nivel de sonoridad que puede producir el paso del agua por los conductos. Además tendrá que tener en cuenta que la pérdida de carga unitaria en tuberías no sea superior a 40 mm.c.a. por metro lineal.

En nuestro caso, el circuito primario no va a viajar por locales habitados, de manera que tomaremos como velocidad de referencia 3m/s.

Para calcular la velocidad de paso del fluido caloportador por el interior de la tubería, el programa f-chart emplea la siguiente expresión:

$$V = \frac{Q \cdot 1000}{3600 \cdot \pi \left(\frac{D_{int}}{2}\right)^2}$$

Fórmula 6.1.2.1: Velocidad del fluido dentro en la tubería

Para calcular la pérdida de carga, el programa procede a calcular por el método de Hardy Cross, mediante el cual, sabiendo la velocidad de partida del caudal, conoceremos el número de Reynolds:

$$Re = \rho U D / \mu$$

Fórmula 6.1.2.2: Reynolds

Y ahora, empleando la ecuación de Colebrook, podrá estimar el factor de fricción de cada elemento, comenzando la iteración empleando la Fórmula de Nikouradse, que supone el Reynolds muy alto:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon/D}{3.71} \right)$$

Fórmula 6.1.2.3: Nikouradse

De manera que obtiene el primer valor de f para el cual comienza a iterar:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right)$$

Fórmula 6.1.2.4: Colebrook

Y a partir del cual, empleando la ecuación de Bernoulli con pérdidas de fricción, se puede calcular la pérdida de carga:

$$\Delta p = \frac{\rho V^2}{2} \left[\frac{L}{D} f(Re_D, \epsilon/D) + \Sigma K \right]$$

Fórmula 6.1.2.5: Bernoulli

El f-chart, introduce las magnitudes físicas en las unidades mas usadas (mm, L/h, etc.) de manera que al introducirlo en la fórmula de Bernoulli, lo va poniendo en unidades del sistema internacional, por lo que el resultado saldrá en pascales, e incluida en la fórmula viene introducido el cambio de unidades de Pa a mm.c.a, con la relación: 1 mmca = 9,8 Pa.

Este valor será la perdida de carga en mm.c.a. en un metro lineal, valor que tiene que ser menor de 40 mm.c.a.

Por tanto podemos comenzar a insertar los datos en la tabla para el cálculo de la sección y de la perdida de carga que en ese tramo, sin tener en cuenta los coeficientes de pérdida que tienen los accesorios, de manera que, después, habrá que añadirselos como longitud equivalente multiplicado por la perdida de carga mm.c.a por metro lineal.

A continuación se explicarán el lugar que ocupa en la instalación cada tramo, denominado en orden numérico:

NOTA: Las válvulas completamente abiertas se considera que no generan pérdida de carga.

Ida:

- 1) queda comprendido desde el interacumulador de los dos depósitos y el intercambiador de calor para la piscina, instalado en la planta baja, hasta la azotea, donde se reparte hacia los dos ramales. Contaremos con 2 codos y 1 válvula de tres vías.
- 2) Tramo que alimente al ramal de la izquierda, el cual alimenta a 16 colectores en el cual salen 2 codos de 90° y una válvula de tres vías.
- 3) Tramo que, después de bifurcarse la alimentación de las dos primeras baterías, se muestra el tramo que alimenta a las dos baterías del fondo. Se cuenta con 1 válvula de 3 vías.
- 4) Tramo de entrada a los colectores, por la parte baja, ya que se trata de entrada de fluido fría. No se cuenta con ningún accesorio que genere pérdida de carga. Este tramo se multiplicará por 4, ya que es el mismo para la entrada de todas las baterías, pues ya está utilizando la tubería más pequeña. Cuenta con 1 codo por entrada de batería.
- 5) Tramo que se bifurca en 3 tramos, alimentando a la vez a las 3 baterías que quedan por alimentar de este ramal. Se imputa una válvula de 4 vías y dos codos de 90°.
- 6) Tramo que va desde el punto de alimentación a cada batería. Siendo el tramo que alimenta a las baterías algo mayor. 1 codo por cada batería.

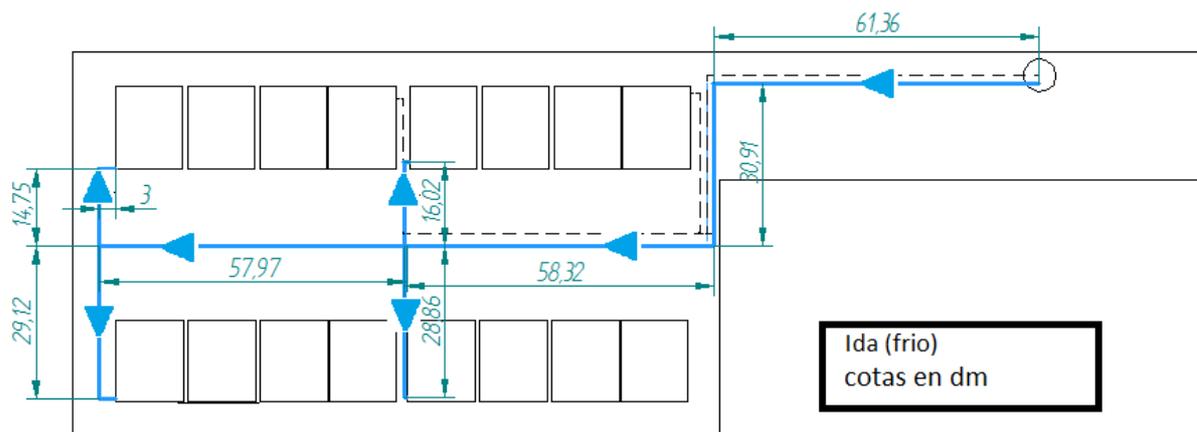


Figura 6.1.2.1 Red distribución fluido frío (parte izq.)

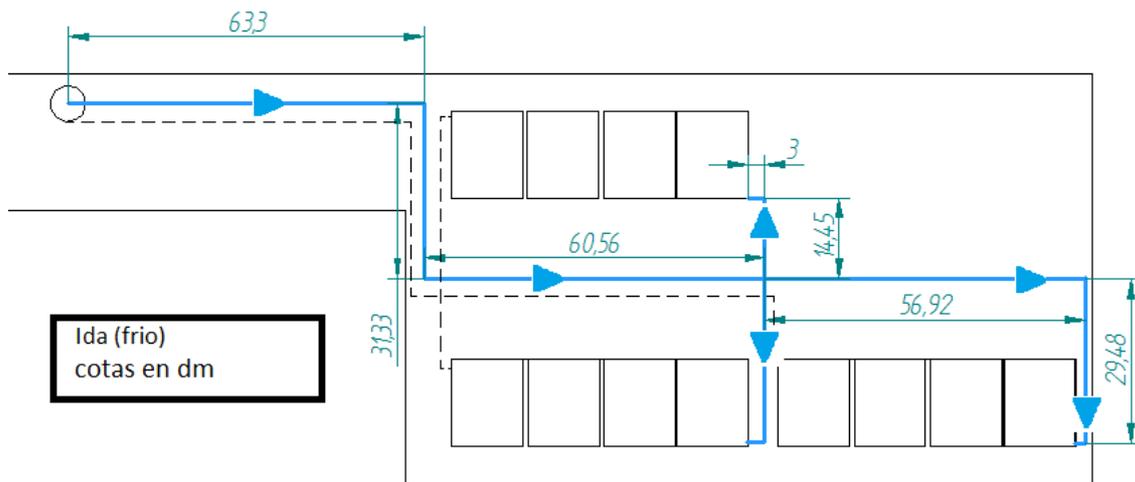


Figura 6.1.2.2: Red distribución fluido frío (parte dcha.)

Retorno:

Coinciden de la misma manera que los del tramo de ida, salvaguardando dos diferencias:

- En los tramos de salida de las baterías hay que tener en cuenta la altura vertical del panel, pues la salida de los mismos se encuentra en la parte superior.
- Los nudos recolectores, están en el otro extremo de las baterías, por lo que los tramos cambiarán algo su longitud. Los accesorios que provocan una pérdida de carga, son los mismos.

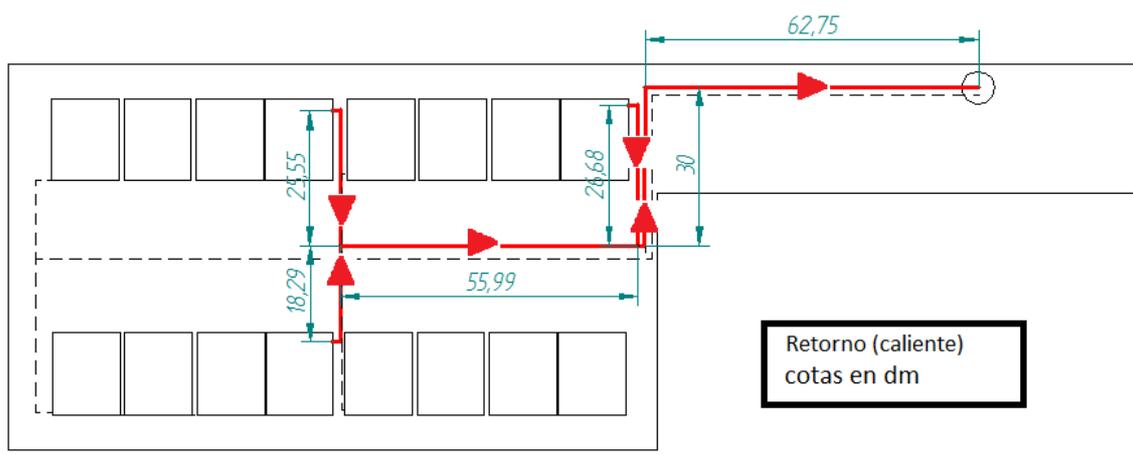


Figura 6.1.2.3: Red distribución fluido caliente (parte izq.)

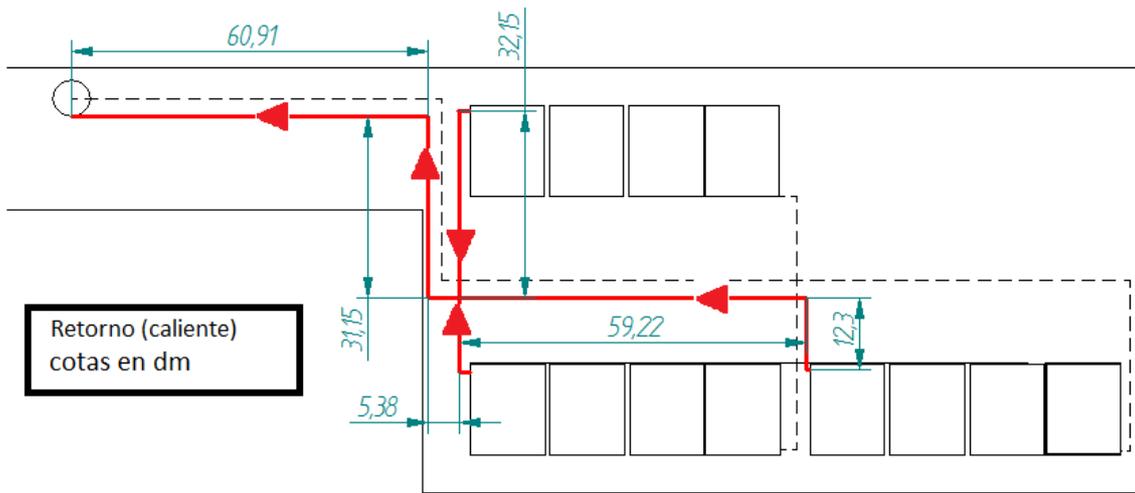


Figura 6.1.2.4: Red distribución fluido caliente (parte dcha.)

| Nº tramos | Longitud [m] | Número de paneles | Caudal [L/h] | Velocidad [m/s] | Dext [mm] Cobre | Norma I.D.A.E. | PERDIDA DE CARGA [mm.c.a.] | | | Material |
|---------------------------|--------------|-------------------|--------------|-----------------|--------------------|----------------|----------------------------|-------|-----------|----------|
| | | | | | | | metro | tramo | acumulado | |
| <u>IDA (F)</u> | | | | | | | | | | |
| 1 | 12 | 28 | 3.318 | 1,08 | 35 | | 38,77 | 465 | 465 | C |
| 2 | 15,5 | 16 | 1.896 | 0,62 | 35 | | 14,38 | 223 | 688 | |
| 3 | 6 | 8 | 948 | 0,50 | 28 | | 13,23 | 79 | 768 | |
| 4 | 11,152 | 4 | 474 | 0,65 | 18 | | 39,58 | 441 | 1.209 | |
| 5 | 15,5 | 12 | 1.422 | 0,74 | 28 | | 26,99 | 418 | 1.627 | |
| 6 | 14,36 | 4 | 474 | 0,65 | 18 | | 39,58 | 568 | 2.196 | |
| <u>RETORNO (C)</u> | | | | | | | | | | |
| 7 | 12 | 28 | 3.318 | 1,08 | 35 | | 38,77 | 465 | 2.661 | |
| 8 | 9,7 | 16 | 1.896 | 0,62 | 35 | | 14,38 | 139 | 2.800 | |
| 9 | 6 | 8 | 948 | 0,50 | 28 | | 13,23 | 79 | 2.880 | |
| 10 | 16,392 | 4 | 474 | 0,65 | 18 | | 39,58 | 649 | 3.528 | |
| 11 | 9,7 | 12 | 1.422 | 0,74 | 28 | | 26,99 | 262 | 3.790 | |
| 12 | 18,294 | 4 | 474 | 0,65 | 18 | | 39,58 | 724 | 4.514 | |
| Perdida Carga = | | | | | | | | | 24.465 | |

Tabla 6.1.2.3: valores pérdida de carga por tramo

El programa nos da una tabla resumen en la que aparecen los siguientes conceptos:

| RESUMEN | | |
|-----------------------|-----------|----------|
| Diámetro ext. [mm] | Mts. lin. | Vol. [L] |
| 18 | 60,20 | 12,10 |
| 22 | 0,00 | 0,00 |
| 28 | 37,20 | 19,75 |
| 35 | 49,20 | 42,08 |
| 42 | 0,00 | 0,00 |
| 54 | 0,00 | 0,00 |
| 64 | 0,00 | 0,00 |
| 76 | 0,00 | 0,00 |
| 64 | 0,00 | 0,00 |
| 64 | 0,00 | 0,00 |
| Comprobación/totales: | 146,60 | 73,93 |

Tabla 6.1.2.4: Resumen metros lineales de tubería y volumen

Ahora procederemos a calcular la pérdida de carga, teniendo en cuenta los metros lineales equivalentes que provocan los accesorios de la instalación. Los cuales nos lo da la siguiente tabla:

| | DIAMETRO NOMINAL DE LA TUBERÍA | | | | | |
|-----------------|--------------------------------|------|------|------|------|------|
| | 18 | 22 | 28 | 35 | 42 | 54 |
| Curva 45º | 0,34 | 0,43 | 0,47 | 0,56 | 0,7 | 0,85 |
| Codo a 90º | 0,5 | 0,63 | 0,76 | 1,01 | 1,32 | 1,71 |
| Curva a 90º | 0,33 | 0,45 | 0,6 | 0,84 | 0,96 | 1,27 |
| Reducción | 0,3 | 0,5 | 0,65 | 0,85 | 1 | 1,3 |
| T sin paso | 0,15 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 |
| T con paso | 2,5 | 3 | 3,6 | 4,1 | 4,6 | 6 |
| T Bifurcación | 1,68 | 1,8 | 1,92 | 2,4 | 3 | 3,6 |
| V. Antirretorno | 0,5 | 0,77 | 1,05 | 1,61 | 2,1 | 2,66 |

Tabla 6.1.2.5: Pérdida de carga en elementos singulares según sección

Para ello, vamos a tener que sumar los metros lineales a los metros lineales equivalentes de manera que calcule la pérdida de carga total:

| Nº tramos | Longitud [m] | Dext [mm] Cobre | PERDIDA DE CARGA [mm.c.a.] | | | | | | | |
|-----------|--------------|-----------------|----------------------------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-------|-----------|
| | | | metro | Codos 90° | Val. Vías | 3 | Reducción | Sumatorio | tramo | acumulado |
| 1 | 12 | 35 | 38,77 | 2 x 0,84 | 1 x 2,4 | - | | 4,08 | 514 | 514 |
| 2 | 15,5 | 35 | 14,38 | 2 x 0,84 | 1 x 2,4 | 1 x 0,85 | | 4,93 | 299 | 814 |
| 3 | 6 | 28 | 13,23 | - | 1 x 2,4 | 1 x 0,85 | | 3,25 | 99 | 912 |
| 4 | 11,152 | 18 | 39,58 | 4 x 0,84 | - | - | | 3,36 | 479 | 1.391 |
| 5 | 15,5 | 28 | 26,99 | 2 x 0,84 | 1 x 2,4 | 1 x 0,85 | | 4,93 | 495 | 1.886 |
| 6 | 14,36 | 18 | 39,58 | 4 x 0,84 | - | - | | 3,36 | 617 | 2.503 |
| 7 | 12 | 35 | 38,77 | 2 x 0,84 | 1 x 2,4 | - | | 4,08 | 514 | 3.017 |
| 8 | 9,7 | 35 | 14,38 | 2 x 0,84 | 1 x 2,4 | 1 x 0,85 | | 4,93 | 187 | 3.204 |
| 9 | 6 | 28 | 13,23 | - | 1 x 2,4 | 1 x 0,85 | | 3,25 | 99 | 3.303 |
| 10 | 16,392 | 18 | 39,58 | 4 x 0,84 | - | - | | 3,36 | 704 | 4.007 |
| 11 | 9,7 | 28 | 26,99 | 2 x 0,84 | 1 x 2,4 | 1 x 0,85 | | 4,93 | 310 | 4.316 |
| 12 | 18,294 | 18 | 39,58 | 4 x 0,84 | - | - | | 3,36 | 785 | 5.102 |

Tabla 6.1.2.6: Pérdida de carga global de red de distribución

Los componentes de una instalación deben disponer de un aislamiento térmico adecuado cuando contengan fluidos a temperatura superior a 40°C y estén situados en locales no calefactados, tal como manda el RITE 2008

Los espesores mínimos de aislamiento interiores, en mm, serán los indicados en la siguiente tabla.

Estos espesores son válidos para materiales con conductividad térmica igual a 0.04 W/m·K a 10°C.

Para el cálculo del aislante de la tubería que está en la azotea al aire libre:

| Diámetro exterior (mm) | Temperatura máxima del fluido (°C) | | |
|------------------------|------------------------------------|------------|-------------|
| | 40...60 | > 60...100 | > 100...180 |
| $D \leq 35$ | 35 | 35 | 40 |
| $35 < D \leq 60$ | 40 | 40 | 50 |
| $60 < D \leq 90$ | 40 | 40 | 50 |
| $90 < D \leq 140$ | 40 | 50 | 60 |
| $140 < D$ | 45 | 50 | 60 |

Tabla 6.1.2.7: Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tubería y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el exterior de edificios (RITE)

En el que comprobamos que tenemos que tomar un aislamiento de las características anteriores con un espesor de 35mm, ya que todas las tuberías son menores o iguales de 35mm de diámetro. Además tomaremos un aislamiento con una protección externa preparada para soportar imprevistos externos ocasionales.

Para la tubería que va por el interior del edificio, habrá que tomar la siguiente tabla:

| Diámetro exterior (mm) | Temperatura máxima del fluido (°C) | | |
|------------------------|------------------------------------|------------|-------------|
| | 40...60 | > 60...100 | > 100...180 |
| $D \leq 35$ | 25 | 25 | 30 |
| $35 < D \leq 60$ | 30 | 30 | 40 |
| $60 < D \leq 90$ | 30 | 30 | 40 |
| $90 < D \leq 140$ | 30 | 40 | 50 |
| $140 < D$ | 35 | 40 | 50 |

Tabla 6.1.2.8: Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tubería y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el interior de edificios (RITE)

De manera que tenemos que poner un aislante de 25mm de espesor, pues todas las tuberías interiores son de 35mm de diámetro.

Para los tramos de la ida tomaremos las siguientes tablas:

| Diámetro exterior (mm) | Temperatura mínima del fluido (°C) | | |
|------------------------|------------------------------------|----------|------|
| | -10...0 | > 0...10 | > 10 |
| $D \leq 35$ | 30 | 20 | 20 |
| $35 < D \leq 60$ | 40 | 30 | 20 |
| $60 < D \leq 90$ | 40 | 30 | 30 |
| $90 < D \leq 140$ | 50 | 40 | 30 |
| $140 < D$ | 50 | 40 | 30 |

Tabla 6.1.2.9: Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tubería y accesorios que transportan fluidos fríos que discurren por el interior de edificios (RITE)

De manera que para el tramo de subida del fluido frío por el interior del edificio tendremos que poner un aislante de 20mm de espesor, pues la temperatura es la temperatura del agua de RED, la mínima de 6°.

| Diámetro exterior (mm) | Temperatura mínima del fluido (°C) | | |
|---------------------------|---------------------------------------|----------|-----|
| | > -10...0 | > 0...10 | >10 |
| $D \leq 35$ | 50 | 40 | 40 |
| $35 < D \leq 60$ | 60 | 50 | 40 |
| $60 < D \leq 90$ | 60 | 50 | 50 |
| $90 < D \leq 140$ | 70 | 60 | 50 |
| $140 < D$ | 70 | 60 | 50 |

Tabla 6.1.2.10: *Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tubería y accesorios que transportan fluidos fríos que discurren por el exterior de edificios (RITE)*

De manera que para el tramo de subida del fluido frío por el interior del edificio tendremos que poner un aislante de 40mm de espesor, pues la temperatura de nuevo es la temperatura del agua de RED, la mínima de 6°.

6.1.3 BOMBA CIRCULACIÓN

Las bombas que impulsan el fluido caloportador deben vencer la resistencia que opone la tubería al paso del fluido, pero no a la presión hidrostática porque la columna de fluido ejerce fuerza tanto en el sentido de impulsión como en el de aspiración, anulándose sus efectos.

La primera consideración que tenemos que tener es que el RITE, exige que para una instalación con superficie de captación mayor de 50 m², hemos de poner dos bombas en paralelo idénticas, una de ellas de reserva, tanto en el primario como en el secundario, si fuese necesario. En este caso se preverá el funcionamiento alternativo de la misma, bien de forma manual o automática. (cumplimiento del CTE HE-4)

Todas las bombas estarán dotadas de tomas para la medición de presiones en aspiración e impulsión.

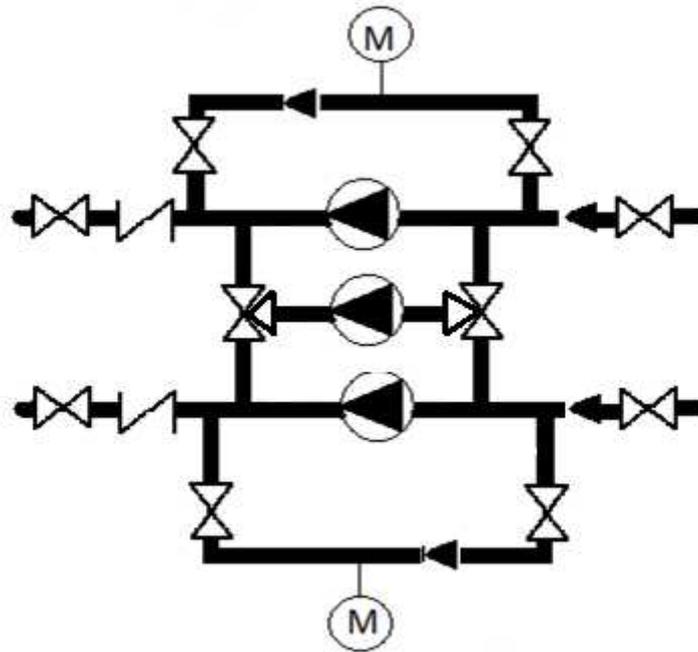


Figura 6.1.3.1: Esquema de conexión de bombas del circuito primario

Esta conexión se trata de que la bomba central valga como bomba de repuesto para el subcircuito que alimenta el depósito de ACS (superior) y el subcircuito que alimenta el acumulador de calefacción (inferior).

Esta conexión sólo es posible gracias a que, al estar priorizado el ACS, rara vez funcionarán los dos circuitos a la vez, por lo que, con una bomba de repuesto, idéntica a las otras dos será suficiente, además de que se encuentran muy cerca la una de la otra en la sala de calderas.

Con esto conseguimos ahorrar una bomba, pues comparten bomba de seguridad. En el plano de la instalación, se han dibujado sin conectar, pues no se ha dibujado la conexión de la bomba secundaria, que quedaría entre las otras dos, tal cual aparece en la figura de más arriba.

Para el dimensionado general de las bombas es necesario conocer:

- El caudal
- La pérdida de carga de la instalación.

El caudal del circuito de captadores es función de las conexiones entre estos, y del caudal del fluido recomendado para el captador seleccionado.

La pérdida de carga de las tuberías se calcula sumando la pérdida de carga de las tuberías, la pérdida de carga en un solo intercambiador, pues al estar priorizado el ACS, no funcionarán a la vez las dos bombas, por tanto, una sola bomba tendrá que poder soportar todas las pérdidas del circuito primario.

El caso más desfavorable lo presenta el serpentín, que presenta una pérdida de carga de unos 4 mm.c.a. mientras que el intercambiador supone 2,5 mm.c.a. de pérdida:

$$P_{dc\ total} = 5102 + 4 = 5106\ mm.c.a.$$

La elección de la bomba está determinada por el punto de funcionamiento del circuito hidráulico, el cual está configurado por las características de caudal y pérdida de carga de la instalación, calculados de la forma ya mencionada.

La curva característica de la bomba deberá estar lo más próxima posible a este punto y siempre por encima.

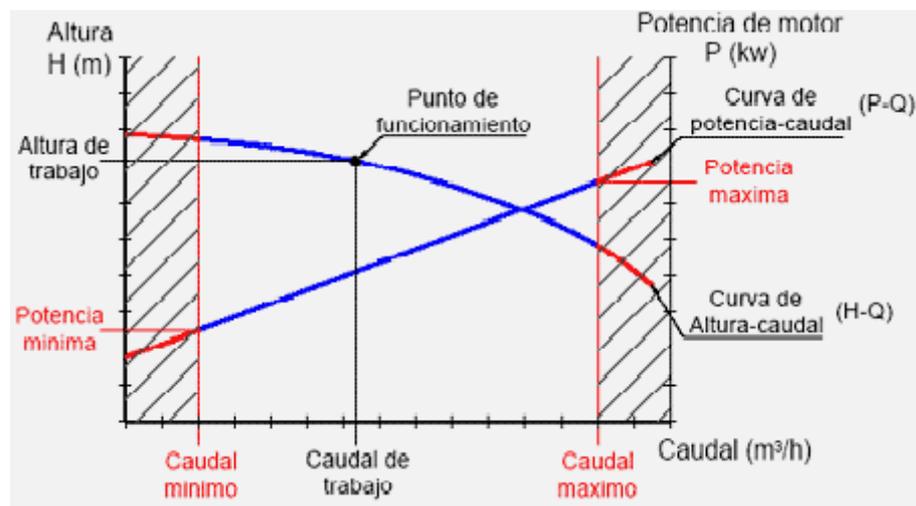


Figura 6.1.3.2: Diagrama genérico de punto de funcionamiento de la instalación

Para seleccionar la bomba, tomaremos la pérdida de carga con un factor de seguridad de 1,1 por posibles modificaciones de las condiciones del fluido.

El caudal, como hemos visto, contamos con un caudal de 118,5 L/h por colector, contando con 28 colectores, obtenemos un punto de instalación:

$$P_{dc} = 5616,6\ mmca \rightarrow P_{dc} = 55,099\ kPa$$

$$Q = 3318\ L/h \rightarrow Q = 3,318\ m^3/h$$

Se ha seleccionado la bomba Grundfos UPS 25-80, cuyo punto de funcionamiento se ver en la gráfica:

UPS 25-80

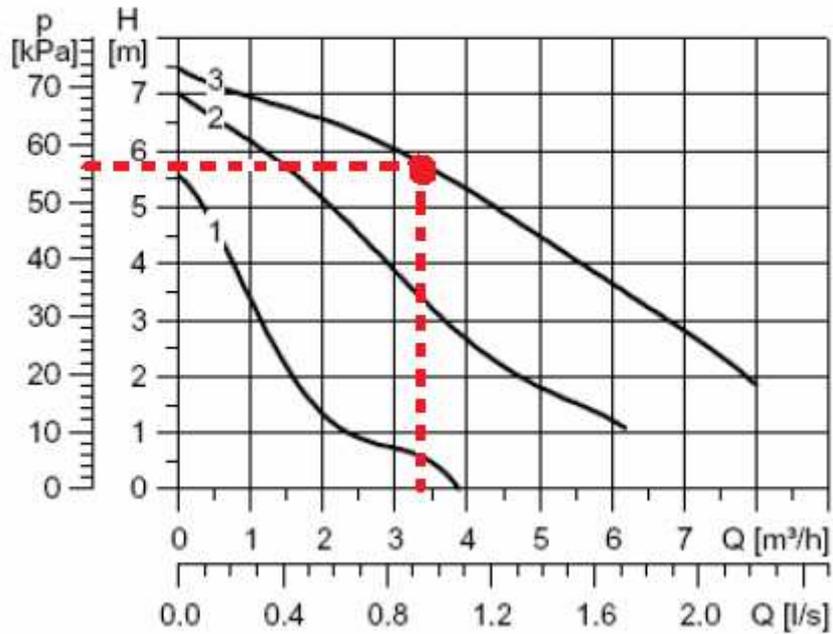
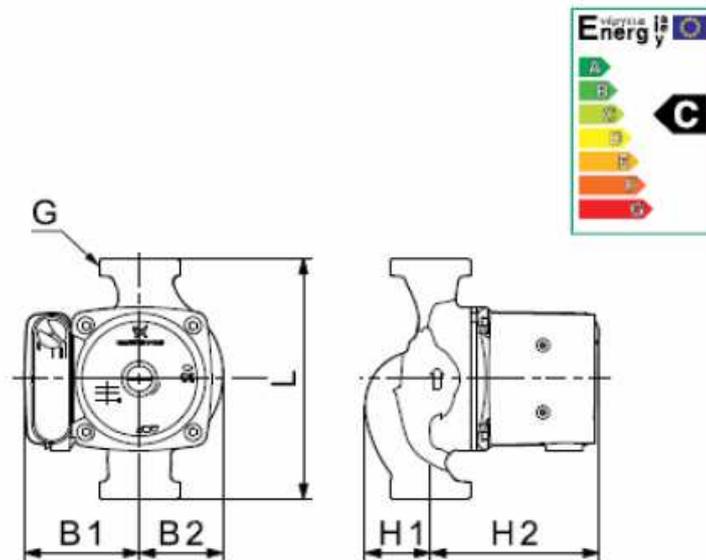


Figura 6.1.3.3: Punto de funcionamiento de la bomba

y cuyas especificaciones son:



Connections: See *Pipe connections* on page 51
 System pressure: Max. 10 bar
 Liquid temperature: -25 °C to +110 °C (TF 110)
 Also available with: Stainless-steel pump housing, type N

| Speed | P ₁ [W] | I _{1/1} [A] |
|-------|--------------------|----------------------|
| 3 | 220 | 0.98 |
| 2 | 200 | 0.90 |
| 1 | 135 | 0.60 |

| Pump type | Dimensions [mm] | | | | | | Weights [kg] | | Ship. vol. [m ³] |
|---------------|-----------------|----|-----|----|----|---|--------------|-------|------------------------------|
| | L | H1 | H2 | B1 | B2 | G | Net | Gross | |
| UPS 32-80 (N) | 180 | 48 | 125 | 85 | 62 | 2 | 4.6 | 4.9 | 0.008 |

Figura 6.1.3.4: Especificaciones de funcionamiento y dimensiones de la bomba UPS 25-80

Como marca el RITE, cuando la superficie de captación supera los 50m² es necesario poner bombas dobles, de la misma potencia, con el fin de actuar en caso de fallo de la primera.

De esta manera contamos con 6 bombas dobles de la marca GRUNDFOS UPS 32-80 de 220W.

6.1.4 INTERCAMBIADOR DE CALOR Y ACUMULADOR

La finalidad del intercambiador es transferir la energía térmica entre el fluido caloportador y el agua de consumo en el circuito primario, aunque también pueda existir intercambio en el circuito secundario, dependiendo del esquema de instalación.

Los intercambiadores pueden ser de dos tipos:

- Intercambiador independiente (Generalmente de placas)
- Intercambiador incorporado al acumulador, o interacumulador (serpentín)

El intercambiador independiente es exterior al depósito, por tanto se necesita una segunda bomba de circulación en el circuito secundario, además su coste es más elevado e introduce una pérdida de carga adicional (limitada generalmente por diseño a 2,5 mm.c.a). Su gran ventaja es el alto rendimiento de intercambio que proporciona. Este tipo de intercambiador se puede utilizar en todo tipo de instalaciones, independiente de su tamaño, pero se hace imprescindible en instalaciones de más de 50m².

Cuando el intercambiador está incorporado en el acumulador, al conjunto se le suele llamar interacumulador, generalmente es un intercambiador de serpentín. Se suelen utilizar en pequeñas instalaciones, con depósitos de hasta unos 1500 ó 1700 litros de capacidad, dependiendo del fabricante.

En nuestro caso, aunque la superficie total supere 50m² disponemos de dos subcircuitos con dos acumuladores, por lo que la cantidad de energía prevista para el intercambio se reparte.

Hemos escogido el siguiente acumulador:

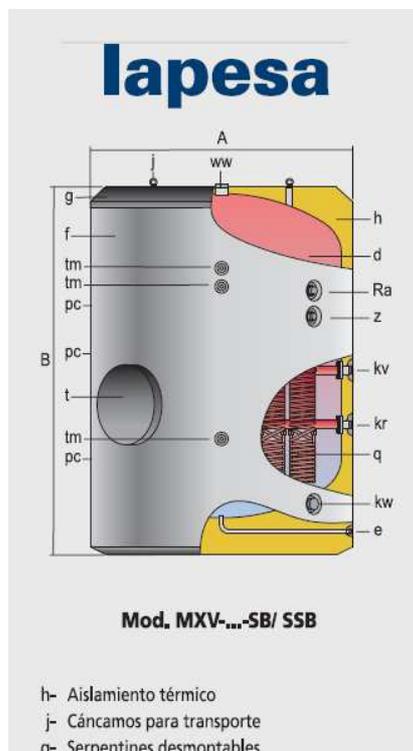


Figura 6.1.4.1: Vista del depósito

Con las siguientes características:

| Características / Conexiones / Dimensiones | | Ref. tamaño acumulador | | | | | | |
|--|----------------|------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | 1500 | 2000 | 2500 | 3000 | 3500 | 4000 | 5000 |
| Capacidad de ACS | litros | 1500 | 2000 | 2500 | 3000 | 3500 | 4000 | 5000 |
| Superficie de intercambio Mod -SB | m ² | 2,8 | 3,4 | 4,2 | 5,0 | 5,9 | 6,7 | 8,4 |
| Superficie de intercambio Mod -SSB | m ² | 4,2 | 5,0 | 6,7 | 8,4 | 8,4 | 8,4 | 10,0 |
| Peso en vacío Mod. MVV (aprox.) | Kg. | 400 (415)* | 460 (475)* | 660 (690)* | 735 (760)* | 820 (840)* | 1040 (1055)* | 1185 (1200)* |
| Peso en vacío Mod. MXV (aprox.) | Kg. | 300 (315)* | 345 (360)* | 485 (515)* | 525 (550)* | 570 (585)* | 655 (670)* | 735 (750)* |
| kw/e: Entrada agua fría/desagüe | "GAS/M | 2 (2/ 1)** | 2 (2/ 1)** | 3 (3/ 1)** | 3 (3/ 1)** | 3 (3/ 1)** | 3 (3/ 1)** | 3 (3/ 1)** |
| ww: Salida de ACS | "GAS/M | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| z: Recirculación | "GAS/M | 1-1/2 | 1-1/2 | 1-1/2 | 1-1/2 | 1-1/2 | 1-1/2 | 1-1/2 |
| kv: Avance c. primario | "GAS/M | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| kr: Retorno c. primario | "GAS/M | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Ra: Conexión lateral | "GAS/M | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| tm: Conexión vaina sensores | "GAS | 3/4M (1/2H)** | 3/4M (1/2H)** | 3/4M (1/2H)** | 3/4M (1/2H)** | 3/4M (1/2H)** | 3/4M (1/2H)** | 3/4M (1/2H)** |
| pc: Conexión ánodos protección catódica | "GAS | 1-1/2M (3/4H)** | 1-1/2M (3/4H)** | 1-1/2M (3/4H)** | 1-1/2M (3/4H)** | 1-1/2M (3/4H)** | 1-1/2M (3/4H)** | 1-1/2M (3/4H)** |
| Diámetro exterior: A | mm. | 1360 | 1360 | 1660 | 1660 | 1660 | 1910 | 1910 |
| Altura total: B | mm. | 1830 | 2280 | 2015 | 2305 | 2580 | 2310 | 2710 |
| Boca de hombre | DN | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 |
| Potencia intercambio Mod -SB ⁽¹⁾ | KW | 130 | 160 | 180 | 250 | 300 | 360 | 440 |
| Potencia intercambio Mod -SSB ⁽¹⁾ | KW | 180 | 250 | 250 | 440 | 440 | 440 | 500 |

Tabla 6.1.4.1: Características del depósito

Donde observamos que, según indica la HE4- CTE, cumple que:

$$\text{suprf. útil intercambio} / \text{suprf. total captación} > 0,15$$

Para el caso mas desfavorable, que sería en los meses de enero y diciembre, en los que todos los paneles servirían para la generación de ACS, concluimos que no cumple la relación, pero al tratarse de un caso límite, y que la instalación cumple ampliamente con los mínimos exigidos por la normativa de mínimo un 60% de cobertura solar, tomaremos como válido la utilización de interacumulador, empleando serpentín como intercambio.

Para el caso del subcircuito de la piscina tenemos que emplear un intercambiador de calor, pues la propia piscina sería “el depósito de acumulación” y no se puede poner un serpentín dentro de la misma, de manera que tiene que hacerse por medios independientes.

La HE-4 del CTE, establece que para intercambiadores independientes, la potencia mínima de intercambio se determina para una radiación solar de $1000\text{W}/\text{m}^2$ y un rendimiento de conversión de energía solar a calor del 50%, por tanto la potencia de diseño del intercambiador (P) en Watios, en función del área de captación solar (A) en m^2 , cumplirá la condición

$$P \geq 500 \cdot A$$

Por otro lado se recomienda al menos $600\text{W}/\text{m}^2$ de captación solar, de este modo se consigue un mayor rendimiento de la instalación.

La potencia que nos da es:

$$P = 500 \cdot 20 \text{ captadores} \cdot 2,37 \text{ m}^2 = 23,7 \text{ kW}$$

El cálculo del intercambiador necesario para evacuar el calor del circuito primario, viene dado por el cociente entre el área requerida de transferencia de calor, y el área de una placa del intercambiador.

$$N_{placas} = \frac{A_{int}}{L \cdot W}$$

Fórmula 6.1.4.1: Número de placas

N_{placas} : número de placas del intercambiador

A_{int} : área de transferencia de calor (m^2)

L: longitud efectiva de cada placa, $L=0,618m$

W: ancho efectivo de cada placa, $W=0,191m$

Para el cálculo de la transferencia de calor necesaria, se calcula con la expresión:

$$A_{int} = \frac{Q_{int}}{U \cdot \Delta T_m}$$

Fórmula 6.1.4.2: Área de intercambio necesaria

Q_{inter} : potencia térmica del intercambiador (W)

U: coeficiente global de transferencia de calor ($W/m^2 \cdot K$)

ΔT_m : diferencia de temperatura logarítmica media (K)

La potencia térmica que tiene que transferir el intercambiador del fluido caliente al frío, está definida en la siguiente expresión:

$$Q_{interc} = m_f \cdot C_{p_f} \cdot (T_{fs} - T_{fe})$$

Fórmula 6.1.4.3: Calor absorbido en el intercambio

m_f : caudal másico del fluido frío del intercambiador (kg/s)

C_{p_f} : calor específico del fluido frío ($J/kg \cdot K$)

T_{fs} : temperatura de salida del fluido frío (K)

T_{fe} : temperatura de entrada del fluido frío (K)

Obteniendo los resultados presentados en la siguiente tabla

| m_f (kg/s) | C_{p_f} (J/kg·K) | T_{fs} (K) | T_{fe} (K) | Q_{interc} (W) |
|--------------|--------------------|--------------|--------------|------------------|
| 0,9217 | 4187 | 299 | 287 | 46308,22 |

Tabla 6.1.4.2: Cálculo calor absorbido en el intercambiador

El cálculo de la diferencia de temperatura logarítmica media se realiza mediante la siguiente expresión, tomándose los valores de las temperaturas como la media del peor mes, el de Agosto.

$$\Delta T_m = \frac{(T_{c\ sin} - T_{fe}) - (T_{ceint} - T_{fs})}{Ln\left(\frac{T_{c\ sin} - T_{fe}}{T_{ceint} - T_{fe}}\right)}$$

Fórmula 6.1.4.4: Temperatura media logarítmica

$T_{c\ sint}$: temperatura de salida del fluido (K)

T_{ceint} : temperatura de entrada del fluido caliente (K)

| Tce (K) | Tcs (K) | Tfs (K) | Tfe (K) | Tm (K) |
|---------|---------|---------|---------|--------|
| 363 | 312,76 | 299 | 287 | 0,5208 |

Tabla 6.1.4.3: Cálculo temperatura media logarítmica

El cálculo del coeficiente global de transferencia de calor se realiza con la siguiente expresión:

R: resistencia térmica de los contaminantes adheridos a las placas del intercambiador, $R = 4,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$. Los coeficientes de convección se calculan mediante:

$$h = \frac{Nu \cdot \lambda_{fluido}}{Lc}$$

Fórmula 6.1.4.6: Coeficiente de convección

Nu: número de Nusselt

λ_{fluido} : conductividad térmica del fluido (W/m·K)

L_c : longitud característica por donde va el fluido por el intercambiador (m)

La longitud característica es el doble de la distancia entre placas:

$$L_c = 2 \cdot \frac{V_{\text{entreplaca}}}{L \cdot W}$$

Fórmula 6.1.4.7: Longitud característica

$V_{\text{entreplaca}}$: volumen entre dos placas (m^3), $V_{\text{entreplaca}} = V_{\text{interno}}/2 \cdot N_{\text{placas}}$

V_{interc} : volumen total de intercambiador (m^3)

El número de Nusselt para este caso viene dado por la siguiente expresión:

$$Nu = 0,4 \cdot Re^{0,64} \cdot Pr^{0,4}$$

Fórmula 6.1.4.8: Nusselt

Re: número de Reynolds. $Re = (\rho \cdot V_{\text{placa}} \cdot L_c) / \mu$

Pr: numero de Prandtl. $Pr = (\mu \cdot C_p) / k_{\text{fluido}}$

V_{placa} : velocidad entre dos placas (m/s)

$$V_{\text{placa}} = \frac{m_{\text{fluido}} \cdot 2 / (N_{\text{placas}} - 1)}{\rho \cdot \frac{V_{\text{entreplaca}}}{L}}$$

Fórmula 6.1.4.9: Velocidad de fluido entre placas

Con las siguientes soluciones:

| ρ (kg/m ³) | m_{fluido} (kg/s) | μ (Pa·s) | C_p (J/kg·K) | λ (W/m·K) | Pr |
|-----------------------------|----------------------------|---------------------|----------------|-------------------|-----|
| 1000 | 0,4 | $8,9 \cdot 10^{-4}$ | 4187 | 0,98 | 3,8 |
| 1000 | 0,4 | $8,9 \cdot 10^{-4}$ | 4187 | 0,98 | 3,8 |

Tabla 6.1.4.4: Prandtl

Con estos valores obteniendo las siguientes soluciones:

| Vplacac (m/s) | Vplacaf (m/s) | Rec | Ref | Nuc | Nuf | Lc (mm) |
|---------------|---------------|-----|-----|-------|-------|---------|
| 0,138 | 0,138 | 982 | 982 | 56,09 | 56,09 | 6,33 |

Tabla 6.1.4.5: Longitud entre placas de los intercambiadores.

| Vinter (m3) | hc (W/m2·K) | hf (W/m2·K) | Uinter (W/m2·K) | Ainter (m2) | Nplacas |
|-------------|-------------|-------------|-----------------|-------------|---------|
| 7,91 | 8.683 | 8.683 | 2.970 | 1 | 11 |

Tabla 6.1.4.6: Número de placas de los intercambiadores.

Se ha seleccionado el modelo CB76-20M, el cual contiene 20 placas, siendo superior al valor mínimo obtenido. Las características técnicas se pueden ver en los anexos.

6.1.5 VASO EXPANSIÓN

La misión del vaso de expansión es absorber los cambios de volumen del fluido por dilatación térmica, evitando que se escape éste por la válvula de seguridad.

La norma UNE 100155:2004 fija las normas de diseño y cálculo.

En general las instalaciones de energía solar térmica suelen ejecutarse con vasos de expansión cerrados. Para proteger sus membranas es conveniente instalar los vasos de expansión en el retorno del circuito solar, con el tubo de conexión hacia abajo y sin aislamiento térmico.

La conexión del vaso al circuito primario debe hacerse directamente, sin intercalar válvula o elemento de cierre que pueda aislar el vaso de expansión del circuito que debe proteger. Ésta conexión se dejará sin aislar.

El vaso de expansión es un elemento de bajo coste, por lo que no es problema elegir un volumen superior a las necesidades del circuito.

EL vaso de expansión cerrado se calcula de la siguiente manera:

$$V_{\text{vaso}} = V_{\text{circuito}} \cdot \xi \cdot (P_{\text{final}} - P_{\text{inicial}})$$

Fórmula 6.1.5.1: Volumen de vaso de expansión

V_{vaso} = Volumen útil de expansión en litros

V_{circuito} = Contenido de fluido en el circuito solar x 1,1 (factor de sobrecalentamiento) en litros

ξ = Coeficiente de dilatación del fluido, = 0,08

P_{final} = Presión final en bar (Aconsejable presión de apertura de válvula de seguridad)

$P_{inicial}$ = Presión inicial (presión de llenado de la instalación) en bar.
(aconsejable presión estática + 0,5bar)

El volumen del circuito hidráulico se hallará sumando el contenido de todas las tuberías, los captadores y el intercambiador. Al factor de sobredimensionado 1,1 se le suele llamar volumen de reserva. Además este sobre dimensionamiento cumple con las especificaciones del HE-4 del CTE.

Las presiones han de ser en valor absoluto, así al valor de la presión de apertura de la válvula de seguridad, habrá que sumarle la presión atmosférica de 1 bar. De manera que para un tarado usual de la válvula de 6bar, la presión final sería:

$$P_{final} = 6 + 1 - 0,5 = 6,5 \text{ bar}$$

La presión inicial valdrá:

$$P_{inicial} = E_{estática} + 1 + 0,5$$

Siendo la altura de la columna de fluido situada sobre el vaso. Recordar que 10 m.c.a. = 1bar. En la instalación, la diferencia de altura entre el punto más alto de la instalación y el vaso de expansión es 12 + 1,31m = 13,31 m:

$$P_{inicial} = 1,33 + 1 + 0,5 = 2,83 \text{ bar}$$

Cuando se calcula por la norma UNE se recomienda multiplicarlo por un factor de seguridad 2, con el fin de dotar al sistema de mayor seguridad contra sobrecalentamientos.

De esta manera:

$$V_{vaso} = 73,93 \times 0,08 \times (6,5 - 2,83) \times 2 = 43,41 \text{ L}$$

Vasos de expansión

Temperatura de servicio -10°C +130°C. Para adición de anticongelante hasta 50% (resistencia a etilenglicol).

| Modelo | Ref. | P.V.P. |
|--------------------------------------|----------|------------|
| Vaso de Expansión Solar 18 litros | TH050100 | 54,00 € |
| Vaso de Expansión Solar 24 litros | TH050110 | 61,00 € |
| Vaso de Expansión Solar 35 litros | TH050120 | 145,00 € |
| Vaso de Expansión Solar 50 litros | TH050130 | 174,00 € |
| Vaso de Expansión Solar 80 litros | TH050140 | 211,00 € |
| Vaso de Expansión Solar 100 litros ☆ | TH050150 | 294,00 € |
| Vaso de Expansión Solar 200 litros ☆ | TH050160 | 835,00 € |
| Vaso de Expansión Solar 300 litros ☆ | TH050170 | 1012,00 € |
| Vaso de Expansión Solar 500 litros ☆ | TH050180 | 1.314,00 € |
| Vaso de Expansión Solar 700 litros ☆ | TH050190 | 2.020,00 € |

Opcional:

| Modelo | Ref. | P.V.P. |
|---|----------|---------|
| Kit Soporte de vaso de Expansión Solar 24 litros + Latiguillo | TH051000 | 61,10 € |



Tabla 6.1.5.1: Vaso de expansión

Cogeremos el inmediatamente superior, es decir, el vaso de 50 L. Como vemos el sistema lleva dos vasos de expansión, uno en el subcircuito de ACS y otro en el de calefacción, por lo que, al ser circuitos similares y pudiendo funcionar en condiciones similares, se pondrán dos, uno en cada subcircuito.

6.1.6 ANTICONGELANTE

El empleo de un adecuado fluido de trabajo en el circuito primario de una instalación solar térmica influye de forma significativa en la fiabilidad, durabilidad y prestaciones energéticas de la instalación.

Los glicoles como los etilenglicol han sido frecuentemente utilizados como anticongelantes en las instalaciones solares térmicas. En la actualidad se suele emplear propilenglicol.

Nosotros emplearemos el D-Termisolar X , un producto formulado como monopropilenglicol calidad farmacéutica, que evita cualquier riesgo de toxicidad en caso de mezcla accidental con ACS ,además de contener agentes que inhiben la corrosión.

La proporción de anticongelante será función de la temperatura de congelación, teniendo en cuenta que debe ser capaz de soportar sin congelarse una temperatura de 5°C menor que la temperatura mínima histórica local registrada. En este caso, correspondería $-16,1^{\circ}\text{C} - 5^{\circ}\text{C} = -21^{\circ}\text{C}$

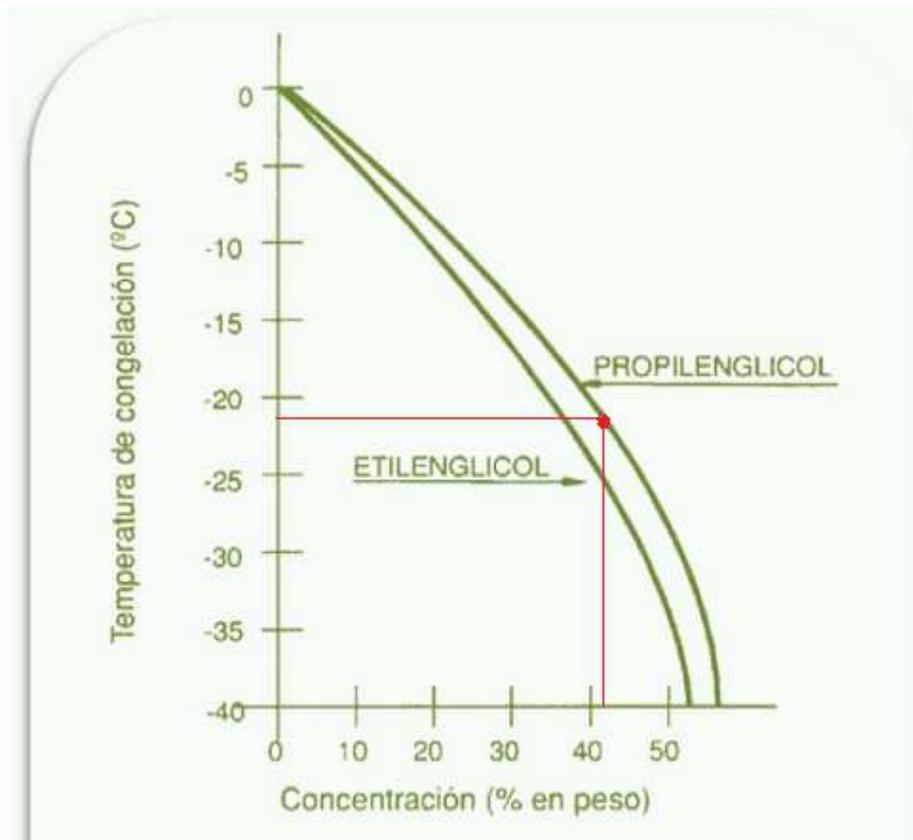


Figura 6.1.6.1: Concentración propilenglicol según temperatura

De manera que nos sale una concentración en peso del 42%, es decir, que sobre los 73,93L de fluido en el primario que tenemos, 31,051 serán de Anticongelante.

Estas mezclas son mas corrosivas que el agua por lo que en ocasiones resulta necesario emplear aditivos anticorrosivos o inhibidores que se encargan de proteger los elementos que componen la instalación. Este producto, ya incorpora este tipo de aditivos para regular estos problemas.

6.1.7 AEROTERMO

La instalación solar debe estar diseñada y construida para soportar el amplio rango de temperaturas al que puede estar sometida, desde las mínimas con riesgo de congelación, a las máximas con riesgos de ebullición y sobrepresión del fluido caloportador.

Las máximas temperaturas que pueden alcanzarse ocurren en periodos de bajo o nulo consumo y de elevada radiación, como puede ocurrir en verano o por ausencia de los usuarios y por lo tanto ausencia de consumo.

Hay que tener en cuenta que en circuitos cerrados cuando sube la temperatura, también lo hace la presión, estando unidos ambos efectos.

En la protección mediante aerotermo, el sistema de control activará el mismo caso de que en los captadores se supere la temperatura máxima de consigna.

La conexión se hará a la salida del colector de aguas calientes, en la misma azotea, con un cable de conexión a la centralita, de manera que cuando mida la sonda de temperatura del depósito una sobrepresión, la centralita manda una señal al aerotermo para que se active y refrigere el circuito.

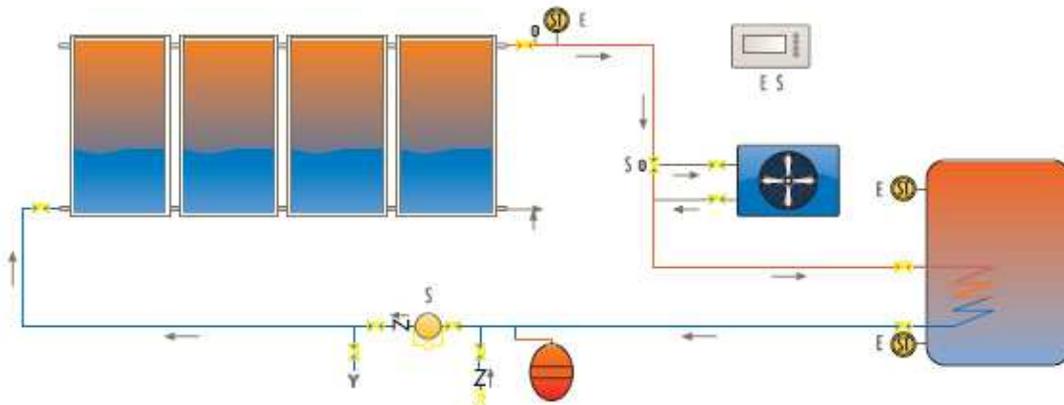


Figura 6.1.7.1: Esquema instalación con aerotermo

Para dimensionar el aerotermo tomamos la tabla del fabricante. Tomando los aerotermos serie ABA de BTU, no indica los siguientes valores:

| Glicol: 30% | | | |
|---------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| T^a aire: 40°C | | | |
| | 100°C | 120°C | 140°C |
| ABA 20 | 16,5 | 23,0 | 30,0 |
| ABA 35 | 30,5 | 42,0 | 54,0 |
| ABA46 | 39,0 | 54,0 | 68,0 |
| ABA 62 | 51,0 | 70,0 | 90,0 |
| ABA 66 | 58,0 | 80,0 | 103,0 |

Tabla 6.1.7.1: Especificaciones de funcionamiento de aerotermos BTU[kW]

Procederemos a escoger el ABA 62, son, es mas o menos la superficie de captación, y cuyo catálogo se adjunta.

6.1.8 CUADRO ELECTRICO, TERMOSTATO DIFERENCIAL Y GRUPO HIDRÁULICO

Por último nos falta hablar de los sistemas de control. Comenzamos hablando del cuadro eléctrico.

Este se ocupará de actuar sobre los elementos de la instalación, como bombas, aerotermo, etc. Cuando las sondas de temperatura y presión avisen de parámetros fuera del rango de utilización adecuados.

Así, una sensor de temperatura, pt100 que va a cada acumulador, avisará de problemas de sobrecalentamiento, de manera que actuará sobre las bombas, haciendo pasar mas fluido frio, activando el aerotermo, y actuando también en las válvulas de vaciado instaladas al final de cada batería de captadores.

EL termostato diferencial dispone de varias sondas de temperatura. La Sonda1 dentro de las placas, la Sonda2 dentro del acumulador, la Sonda3 dentro del acumulador de calefacción, y de varios relés que activan la bomba electrocirculadora que transportara el calor recibido en las placas solares térmicas al acumulador.

Cuando la temperatura de la sonda1 es igual o inferior a la sonda2 se para la bomba, de esta forma el calor siempre viaja de las placas al acumulador en el momento preciso en que es recibido. La Sonda3 tiene varias funciones, entre ellas, alarma de alta o baja temperatura en el acumulador.

Además esta elemento se ocupa de cumplir las condiciones mínimas para que no aparezcan problemas de legionela, haciendo subir la temperatura de vez en cuando, para eliminar los posibles brotes existentes.

El grupo hidráulico para instalaciones solares térmicas es un conjunto de componentes que integra los elementos hidráulicos en el circuito primario de estas instalaciones. Los grupos hidráulicos se encargan de transferir el calor captado por los colectores solares a la acumulación de "agua solar".

Componentes y funciones:

- 1) Bomba solar.
- 2) Válvulas de corte con termómetros y antirretorno integrados (en ramal de ida y retorno para evitar flujos inversos).
- 3) Conjunto de seguridad compuesto por:
 - a) Válvula de seguridad solar tarada a 6 bar.
 - b) Manómetro (0-10 bar).
 - c) Conexión para vaso de expansión.

- 4) Caudalímetro y regulador de caudal: El objetivo de este elemento es el equilibrado del circuito primario, en función del número de colectores, dado que los colectores tienen un caudal óptimo de trabajo ($50\text{L/h}\cdot\text{m}^2$).
- 5) Cámara de purgado de aire. Se instalan purgadores automáticos en los colectores pero estos tienen que estar cerrados para evitar que cuando la temperatura supere los 100°C el vapor salga por el purgador y se vacíe la instalación.

Para evacuar el aire en una zona accesible se instala una cámara de purgado. El fluido "con aire" pasa por el tubo interior y en la expansión las burbujas se separan y se acumulan en la parte superior. La cámara dispone de un purgador manual para que se evacúe el aire que se acumula periódicamente.

- 6) Grifos de llenado/vaciado.
- 7) Carcasa aislante de Polipropileno Expandido (EPP).

6.2 CIRCUITO SECUNDARIO

En este caso, al ser una instalaciones con acumulación centralizada, el calentamiento del agua mediante energía solar se produce en un acumuladores situados en la sala de calderas comunes a todo el edificio, desde el que se hace llegar a cada vivienda a través de un circuito de distribución.

Para asegurar la continuidad en el suministro de agua caliente, las instalaciones de energía solar deben disponer de un sistema de energía auxiliar o de apoyo.

El sistema convencional auxiliar se diseñará para cubrir el servicio como si no se dispusiera del sistema solar. Sólo entrará en funcionamiento cuando sea estrictamente necesario.

Los sistemas de producción de ACS empleados como sistemas de apoyo en las instalaciones solares tienen que cumplir dos condiciones básicas para aprovechar adecuadamente las prestaciones energéticas aportadas por la instalación solar.

- Admitir agua caliente a la entrada
- Disponer de regulación de la temperatura a la salida.

6.2.1 TUBERÍAS CIRCUITO DISTRIBUCIÓN ACS

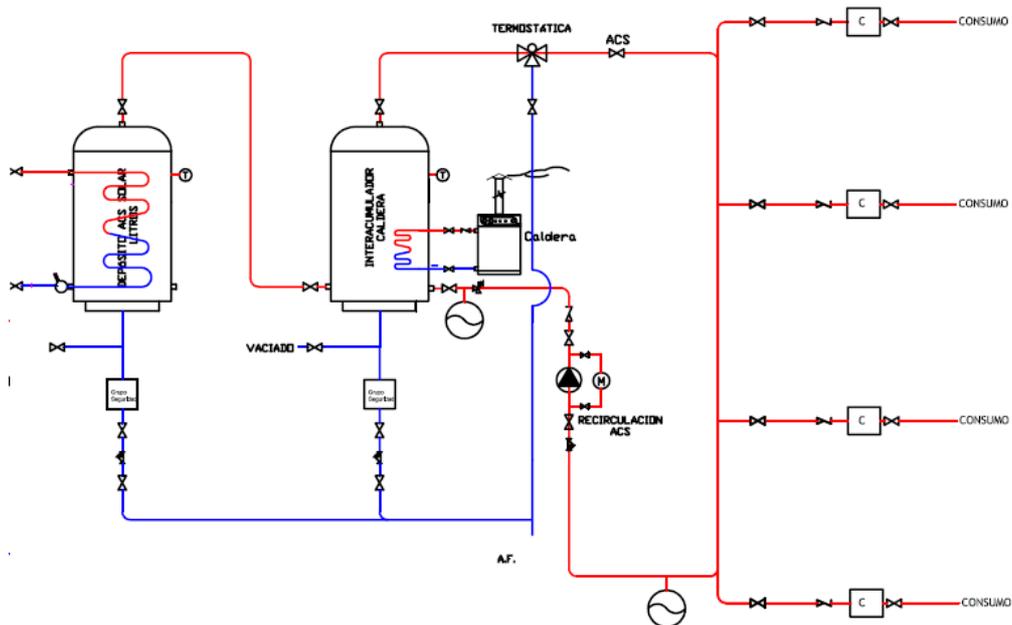


Figura 6.2.1.1: Esquema circuito secundario ACS

Aquí se hace referencia a la red de distribución que va desde el depósito de acumulación de la caldera para la producción de ACS hasta la entrada a la red de distribución a los puntos de consumo de las viviendas y el retorno de las casas hasta la entrada del depósito, por lo que sólo hemos de calcular la parte de circuito representada a continuación, debido a que lo demás es la preinstalación de distribución a los puntos de consumo, de la cual se ocupa la constructora.

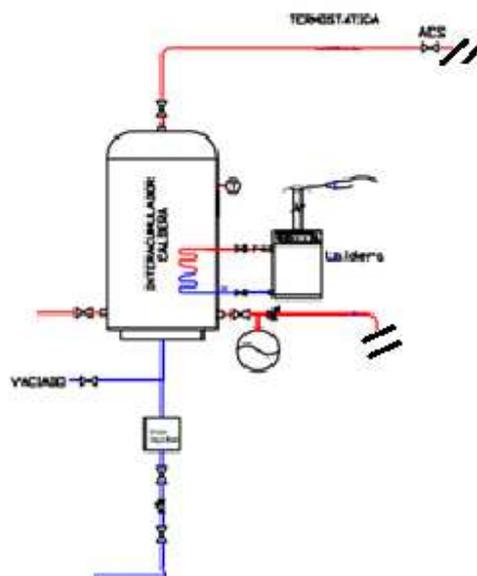


Figura 6.2.1.2: Esquema instalación caldera

De manera que solo queda instalar la caldera, y el depósito, conectándolo por un lado al retorno de la red de puntos de consumo, por otro lado a la salida del depósito solar, para que le inyecte agua a la temperatura alcanzada con energía solar, y además la entrada de agua de red AFS y por otro lado, tendrá una salida del depósito que será la alimentación de la red de consumo de las viviendas.

Éste depósito será del mismo tamaño, pues el agua que sale del depósito es la que entra del retorno, por lo que solo tiene que poder acumular el agua que le llega del depósito solar.

El material normalmente empleado para las conducciones es el cobre sanitario. Aunque para la distribución de suelo radiante usaremos material plasto (PEX).

6.2.2 SUELO RADIANTE

El siguiente circuito corresponde al de alimentación del sistema de suelo radiante, el cual tendremos que calcular. Correspondería al siguiente tramo:

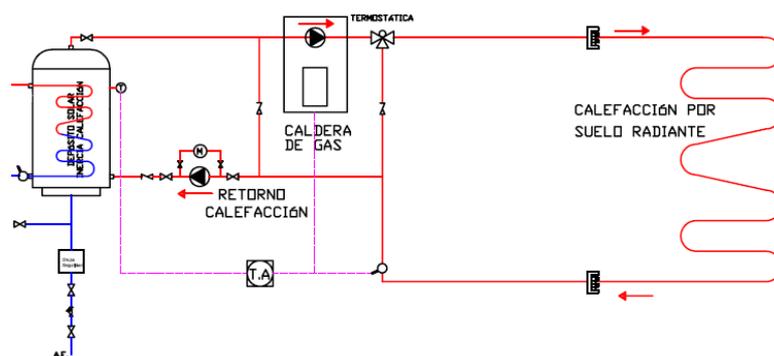


Figura 6.2.2.1: Esquema instalación suelo radiante

La entrada de agua caliente para calefacción que va desde la caldera, corresponde a la preinstalación de calefacción, de la cual se encarga la empresa constructora.

Por tanto se diseñará el entramado del suelo radiante, y la caldera, y sistema de acumulación solar pertinente.

La calefacción por suelo radiante consiste en una tubería empotrada en la capa de mortero que discurre por toda la superficie del local a calefactar. Esta tubería conduce agua caliente (a baja temperatura respecto a otros sistemas de calefacción) producida por el sistema solar, o la caldera de biomasa.

El agua cede el calor al suelo a través de la tubería y el suelo, a su vez, lo transmite al ambiente del edificio. Para provocar un aumento importante de ganancia de energía hacia el interior de la vivienda, se instala un panel aislante, sobre el cual van las tuberías colocadas encima, que desempeña un papel importante en el aislamiento térmico y acústico.

De ahí que al calcular las pérdidas de carga a través de los suelos y techos, las hayamos considerado despreciables.

La instalación consta de las siguientes partes.

Tubos de distribución

Este sistema de calefacción está constituido por unos serpentines de tubo de Polietileno Reticulado "Pex Gol", instalados debajo del pavimento de las dependencias calefactadas, que parten y finalizan en unos colectores.

Estos tubos son el componente principal de la instalación. Están fabricados con polietileno de alta densidad y reticulados. El reticulado permite la estructura de red tridimensional, por enlace químico, que hace que el tubo no tenga problemas de que se disuelva o se funda. Estas tuberías no se ven afectadas por el hormigón o mortero y absorben la expansión térmica evitando de la formación de grietas en las tuberías o el hormigón.

La disposición de estos tubos puede ser varias, de manera que se usará la greca simple debido a que es la más recomendable para viviendas, pues conlleva menos metros de conducto. La principal limitación es que entre los dos puntos de la habitación tienes un gran salto térmico, ya que se va enfriando, hasta el retorno. Al ser superficies pequeñas, suele ser válido para viviendas.

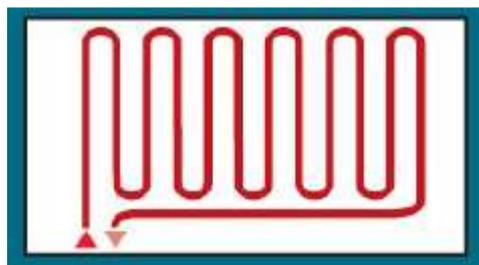


Figura 6.2.2.2: Circuito suelo radiante greca simple

Sistema de colectores



Se trata de un conjunto de accesorios que se colocan en una caja de registro y cuya función es distribuir el agua caliente que se recibe de la caldera a cada uno de los circuitos de tubería correspondientes a cada habitación de la vivienda, así como de recoger el retorno para enviarlo de nuevo a la caldera.

El sistema de colectores permite la regulación independiente de las temperaturas de cada una de las habitaciones de la vivienda en función de sus respectivas necesidades caloríficas.



Figura 6.2.2.3: Colectores ida (caliente) y retorno (frío)

Se trata de dos colectores de latón de dimensiones 1 1/4" (uno de ida y otro de retorno) donde se colocan todos los órganos de regulación y control del sistema de colectores.

El colector de ida está previsto de detentores con indicadores ópticos de pérdida de carga y el colector de retorno está provisto de válvulas termostaticables.



Válvulas termostaticables con cabezales electotérmicos. Cada circuito consta de una de estas válvulas que permite el cierre total o parcial (regulación del caudal por el usuario) independientemente, mediante un termostato ambiente.



Los medidores de caudal permiten conocer el caudal que circula por cada circuito. Van colocados en el colector de retorno.



Detentor. Tienen la misma finalidad de regular proporcionalmente el caudal de cada circuito pero sólo pueden ser manipulados por personal cualificado. La regulación del detentor se hará en función de los datos técnicos de cada circuito. La utilización de un medidor de caudal (caudalímetro) facilita esta operación al ser la lectura directa.



Válvulas de espera con Racor móvil.

Cada colector dispone de una llave de corte necesaria para independizarlo del resto de la instalación. De esta forma se puede sustituir cualquier elemento del colector sin dejar fuera de servicio el resto de la instalación.

Se trata de una válvula de esfera reversible dotada de racor móvil y termómetro. El termómetro que incorpora la válvula nos permite conocer en cada momento la temperatura del agua de ida y del agua de retorno.



Grupos de purgado y vaciado.

Se componen de un purgador y de una válvula de vaciado. La función del purgador es eliminar el aire de la instalación para facilitar la correcta circulación del agua a través de los circuitos de suelo radiante. Así mismo la función de la válvula de vaciado es permitir el vaciado del colector.

Los grupos de purgado y vaciado se sitúan en el extremo de los colectores.



Adaptadores para tubo de polietileno reticulado.

Se trata de unos adaptadores a compresión especiales para el tubo de polietileno reticulado y los colectores.



Circulador de Agua.

Es la bomba encargada de garantizar la velocidad requerida de circulación de agua por los circuitos que componen la instalación.

La regulación



Es el equipo que controla el funcionamiento del sistema de calefacción de suelo radiante en función de las necesidades de aportación de calor que haya en cada momento. Su funcionamiento es clave para conseguir un grado de confort óptimo así como para minimizar el consumo energético.

Este sistema será de regulación a temperatura variable de manera que te permite variar la temperatura que recibe la instalación en función de diversas circunstancias como las variaciones en la temperatura exterior en la calle y la temperatura ambiente interior en la vivienda.

Se recomienda que cada local (dormitorio, cocina, etc.) sea calefactado por circuitos independientes. De este modo se posibilita la regulación de temperaturas de cada estancia de forma independiente.

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

$$L = A/e + 2 \cdot l$$

Fórmula 6.2.2.1: Longitud de tubería de circuito de suelo radiante

A = Área a calefactar cubierta por el circuito [m²]

e = Distancia entre tubos [m]

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

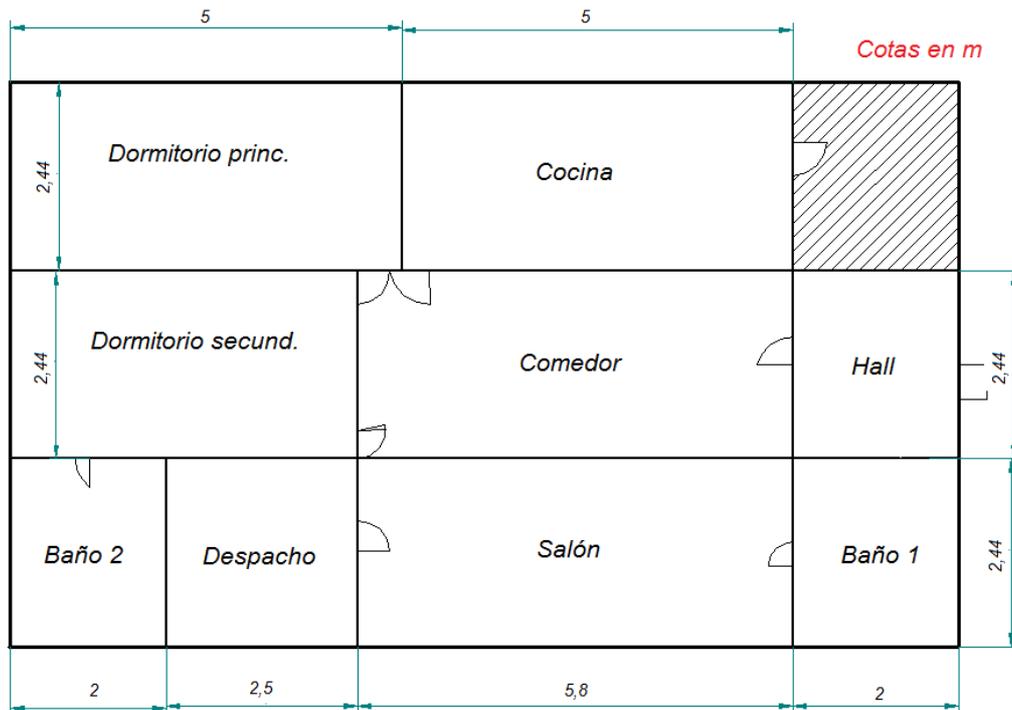


Figura 6.2.2.4: Esquema Vivienda tipo

Por consiguiente obtenemos las siguientes longitudes de los circuitos:

| Estancia | Superficie (m ²) | dist. Entre tubos e (m) | Dist entre tubos l (m) | L (m) |
|------------------|------------------------------|-------------------------|------------------------|-------|
| baño 1 | 4,28 | 0,20 | 5,80 | 33,00 |
| salón | 12,41 | 0,20 | 0,00 | 62,06 |
| despacho | 5,35 | 0,20 | 0,50 | 27,75 |
| baño 2 | 4,28 | 0,20 | 2,70 | 26,80 |
| Dormitorio prin. | 11,77 | 0,20 | 5,50 | 69,85 |
| Dormitorio sec. | 10,70 | 0,20 | 0,00 | 53,50 |
| Cocina | 10,70 | 0,20 | 1,00 | 55,50 |
| Hall | 4,28 | 0,20 | 0,50 | 22,40 |

Tabla 6.2.2.1: Longitud de circuito según estancia

Cálculo suministro con caudales variables a temperatura constante.

Se toma como valor de referencia la carga térmica y se divide por la superficie a calentar, para darnos una demanda por m², cantidad que se denomina flujo calorífico, f.

| Estancia | Superficie m2 | Carga térmica W | f (W/m2) |
|------------------|---------------|-----------------|----------|
| baño 1 | 4,28 | 226,79 | 52,99 |
| salón | 12,41 | 779,63 | 62,81 |
| despacho | 5,35 | 159,77 | 29,86 |
| baño 2 | 4,28 | 231,59 | 54,11 |
| Dormitorio prin. | 11,77 | 1197,73 | 101,76 |
| Dormitorio sec. | 10,70 | 299,07 | 27,95 |
| Cocina | 10,70 | 74,04 | 10,38 |
| Hall | 4,28 | 194,77 | 45,51 |

Tabla 6.2.2.2: flujo calorífico según estancia

Debido a que la estancia de elementos eléctricos o personas puede modificar este valor, impondremos que haya un mínimo de 45 W/m². Así:

| Estancia | Superficie m2 | Carga térmica W | f (W/m2) |
|------------------|---------------|-----------------|----------|
| baño 1 | 4,28 | 226,79 | 52,99 |
| salón | 12,41 | 779,63 | 62,81 |
| despacho | 5,35 | 159,77 | 45,00 |
| baño 2 | 4,28 | 231,59 | 54,11 |
| Dormitorio prin. | 11,77 | 1197,73 | 101,76 |
| Dormitorio sec. | 10,70 | 299,07 | 45,00 |
| Cocina | 10,70 | 74,04 | 45,00 |
| Hall | 4,28 | 194,77 | 45,51 |

Tabla 6.2.2.3: Flujo calorífico corregido

Se va a dotar de un sistema de suelo radiante formado por serpentines de tubos de polietileno de 20 x 2, con un paso de "greca simple" de 200 mm. con un salto térmico, Δt , de 10 °C.

Los condicionantes que han de considerarse previamente al cálculo son los siguientes:

- ta.- Temperaturas de diseño del ambiente: de 18 a 24°C.
- ΔT .- $T_{ida} - T_{retorno}$ del agua de los circuitos: de 5 a 10°C.
- tp.- Temperaturas máximas recomendables de la superficie pisable, 27°C

Para saber el salto térmico que tiene que vencer el suelo radiante, emplearemos ábacos que ofrecen las marcas comerciales, en los que recogen medidas experimentales, que nos simplificarán mucho los cálculos.

Para ello determinaremos la temperatura de suelo para la calcular el calor que hay que aportar a la estancia concreta.

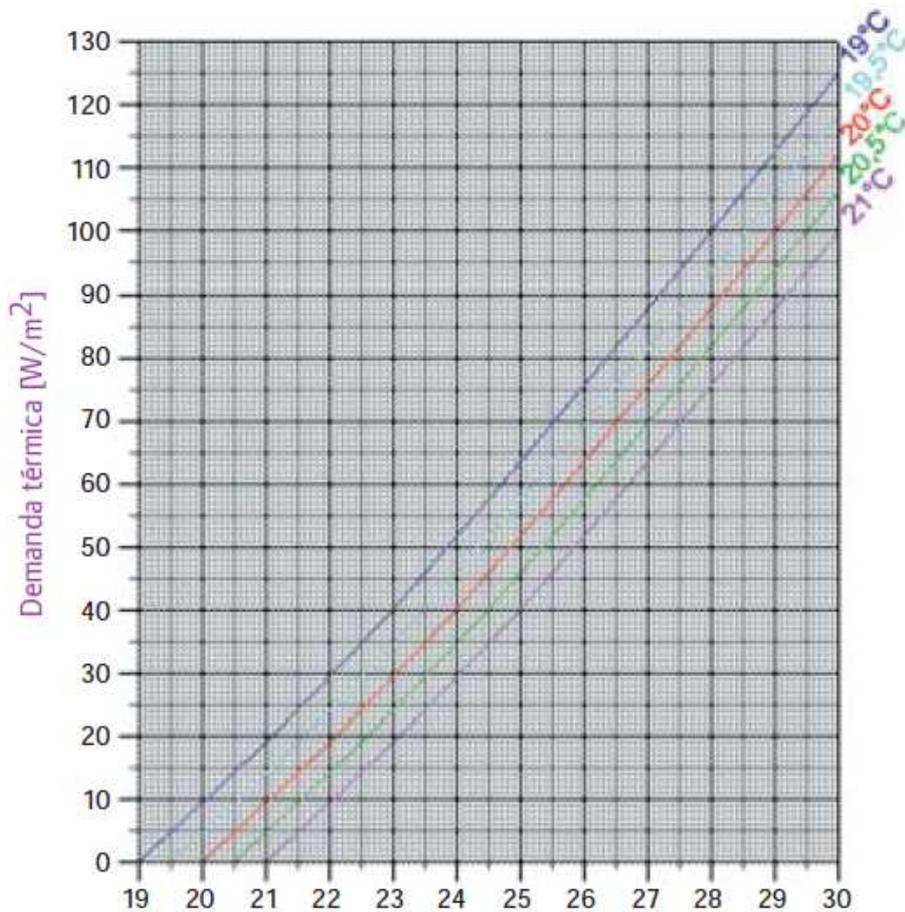


Figura 6.2.2.5: Diagrama T^a suelo según flujo calorífico

De esta manera, introduciendo el flujo calorífico de dicha habitación, obteniendo las siguientes temperaturas:

| Estancia (21°C) | f (W/m2) | Tsuelo (°C) |
|------------------|----------|-------------|
| baño 1 | 52,99 | 26,0 |
| salón | 62,81 | 26,7 |
| despacho | 45,00 | 25,5 |
| baño 2 | 54,11 | 26,2 |
| Dormitorio prin. | 101,76 | 30,0 |
| Dormitorio sec. | 45,00 | 25,5 |
| Cocina | 45,00 | 25,5 |
| Hall | 45,51 | 25,6 |

Tabla 6.2.2.4: Temperatura de suelo según estancia

El salto térmico entre el agua de impulsión y el de retorno se fija en 10°C. La magnitud de la temperatura media del agua en las tuberías emisoras (T_{ma}) depende de la demanda térmica del local (Q), la temperatura interior de diseño (T_i) y del coeficiente de transmisión térmica (K_a) según la fórmula:

$$Q [W/m^2] = K_a \cdot [T_{ma} - T_i]$$

Fórmula 6.2.2.2: Calor necesario transmitido por suelo radiante

El coeficiente de transmisión térmica de la capa sobre tubos [K_a] se calcula aplicando la fórmula:

$$K_a [W/m^2\text{°C}] = 1 / [\Sigma(e/\lambda) + (1/\alpha)]$$

Fórmula 6.2.2.3: Coeficiente de transmisión

e = Espesor de la capa [m]

λ = Conductividad térmica del material de la capa [$W/m\text{°C}$] (Ver Anexos)

α = Coeficiente de transmisión de calor del suelo [$W/m^2\text{°C}$] (en el rango de temperaturas que nos movemos su valor varía entre 10 y 12 $W/m^2\text{°C}$. Tiene dos componentes:

- coeficiente de transmisión por radiación y
- coeficiente de transmisión por convección).

La figura siguiente muestra el gráfico que relaciona la demanda térmica (Q), la resistencia térmica del suelo (R) para obtener la temperatura de impulsión del agua en el circuito correspondiente (T_a) y la temperatura superficial máxima (T_s) que será $T_a - 10\text{°C}$.

Esta tabla tiene en cuenta la resistencia térmica que ofrece el pavimento con el espesor de hormigón, espesor de parquet y una distancia entre tubos de 200mm, ahorrándonos el cálculo de dicha resistencia, pues presenta un problema de transferencia térmica laborioso.

| Pavimento | Espesor [m] | Resistencia térmica [$m^2\text{°C/W}$] | Pavimento | Espesor [m] | Resistencia térmica [$m^2\text{°C/W}$] |
|-----------|-------------|--|-----------|-------------|--|
| Parquet | 0,012 | 0,09 | Baldosa | 0,020 | 0,02 |
| Parquet | 0,015 | 0,11 | Mármol | 0,030 | 0,01 |
| Parquet | 0,022 | 0,16 | Terrazo | 0,015 | 0,01 |
| Tarima | 0,020 | 0,21 | Mosaico | 0,025 | 0,06 |
| Corcho | 0,010 | 0,14 | Linóleo | 0,002 | 0,01 |

Tabla 6.2.2.5: Resistencia térmica en función del tipo de suelo.

De manera que tomamos un espesor de pavimento de parquet de 12 cm , ya que la altura del contenedor es ajustada, y requerimos un pavimento lo mas fino posible.

La tabla que nos relaciona los valores de flujo calorífico con respecto a la temperatura de impulsión, tomando $R = 0,09 \text{ [m}^2 \cdot \text{°C/W]}$ es la siguiente:

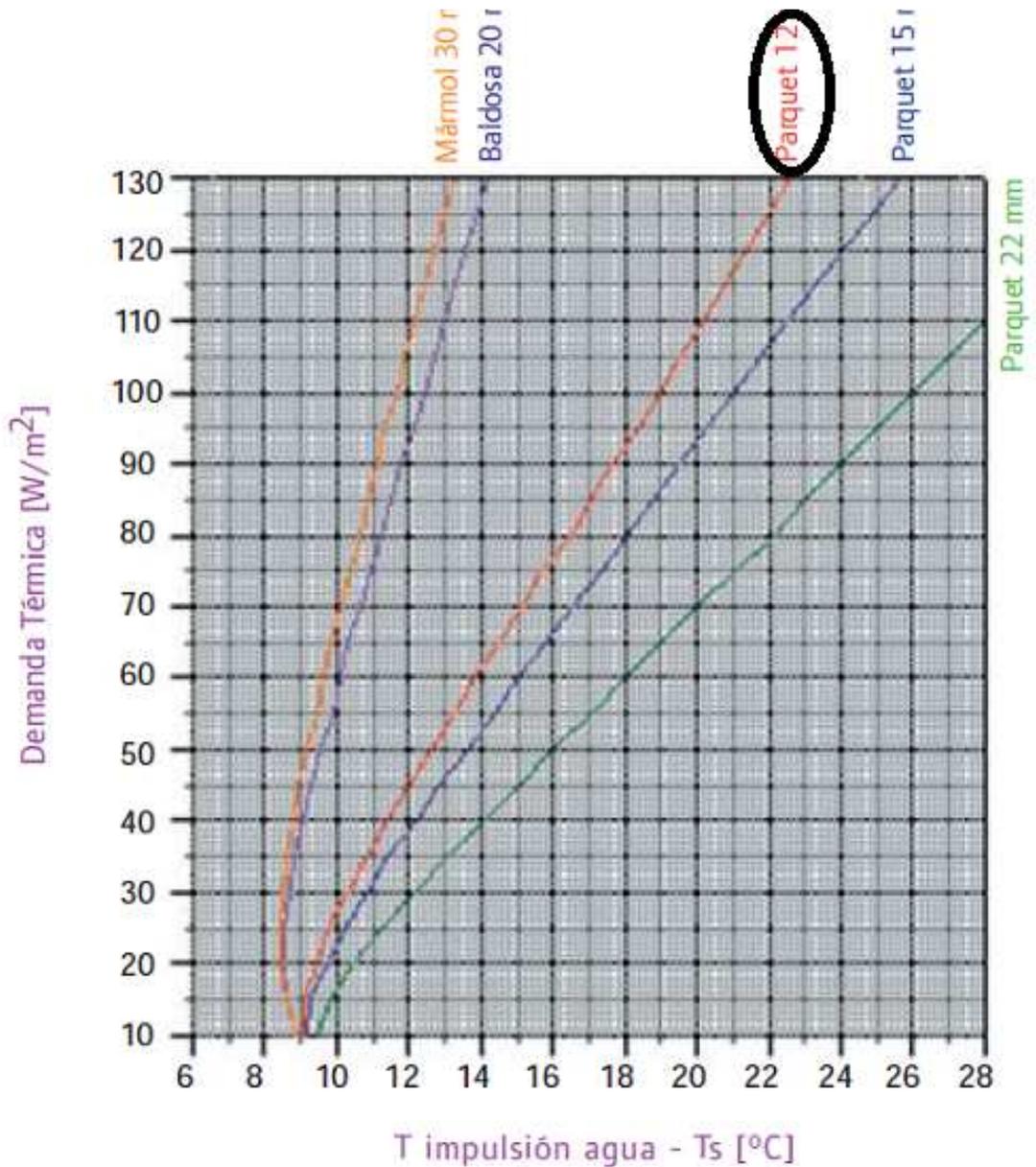


Figura 6.2.2.6: Diagrama temperatura de impulsión en función de flujo calorífico

Con todo esto podemos obtener los siguientes valores:

| Estancia (Parquet 12mm) | f (W/m ²) | Timpulsion (°C) | Tretorno (Ta-10°C) |
|-------------------------|-----------------------|-----------------|--------------------|
| baño 1 | 52,99 | 32,8 | 22,8 |
| salón | 62,81 | 33,9 | 23,9 |
| despacho | 45,00 | 32,0 | 22,0 |
| baño 2 | 54,11 | 32,9 | 22,9 |
| Dormitorio prin. | 101,76 | 39,1 | 29,1 |
| Dormitorio sec. | 45,00 | 32,0 | 22,0 |
| Cocina | 45,00 | 32,0 | 22,0 |
| Hall | 45,51 | 32,2 | 22,2 |

Tabla 6.2.2.6: Temperatura ida/retorno de circuito de suelo radiante según estancia

Cálculo del caudal de agua

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

Como se ha comentado con anterioridad, el salto térmico es una constante de valor 10oC, por lo que el caudal es únicamente función de la carga térmica según la expresión:

$$[Q] = m \cdot Cp \cdot (Timp - Tret) [kW]$$

Fórmula 6.2.2.4: Calor cedido por circuito de suelo radiante

m =Caudal de agua [Kg/s]

C_p = Calor específico del agua [1 KJ/Kg °C]

T_{imp} - T_{ret} = Salto térmico impulsión - retorno = 10°C

En Q ha de considerarse la potencia térmica emitida por cada circuito, incluyendo la emitida en los trayectos desde el local calefactado hasta el colector.

Los cabezales electrotermicos, gracias a su ciclo de apertura y cierre, permitirán el paso del caudal calculado. De este modo se posibilita la regulación de cada local de forma independiente a todos los demás.

Para tener en cuenta las pérdidas de transporte hasta la sala a calefactar, se mayorará un 5% el área de la sala a calefactar:

De esta manera obtenemos los siguientes valores de caudal:

| Estancia | f (W/m ²) | Superficie (m ²) | Sup. (m ²) | real | Ta-Tret | m(Kg/s) | Q (L/s) |
|------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------|------|---------|----------------|---------------|
| baño 1 | 52,99 | 4,28 | 4,49 | | 10,00 | 0,0057 | 0,0057 |
| salón | 62,81 | 12,41 | 13,03 | | 10,00 | 0,0196 | 0,0196 |
| despacho | 45,00 | 5,35 | 5,62 | | 10,00 | 0,0060 | 0,0060 |
| baño 2 | 54,11 | 4,28 | 4,49 | | 10,00 | 0,0058 | 0,0058 |
| Dormitorio prin. | 101,76 | 11,77 | 12,36 | | 10,00 | 0,0301 | 0,0301 |
| Dormitorio sec. | 45,00 | 10,70 | 11,24 | | 10,00 | 0,0121 | 0,0121 |
| Cocina | 45,00 | 10,70 | 11,24 | | 10,00 | 0,0121 | 0,0121 |
| Hall | 45,51 | 4,28 | 4,49 | | 10,00 | 0,0049 | 0,0049 |
| | | | | | | Q total | 0,0963 |

Tabla 6.2.2.7: Caudal según calor cedido.

Para el cálculo de la red de tuberías de conexión entre sala de calderas y colectores debe conocerse el caudal circulante por cada tramo. Una vez conocido este dato se entra en el gráfico de pérdidas de carga y se selecciona la dimensión de la tubería UPONOR wirsbo-evalPEX de acuerdo a un límite de pérdida de carga lineal que dependerá de la potencia de bomba disponible.

De esta manera obtendremos los diámetros de tubería pertinentes en cada tramo.

Usualmente este valor de pérdida de carga se fija en 0,2 KPa/m.

Los accesorios precisos son codos, derivaciones en T y racores con salida roscada. Su tipo será UPONOR Quick & Easy. Para dimensiones inferiores a 75 mm, o UPONOR grandes dimensiones bronce desde 75 hasta 110.

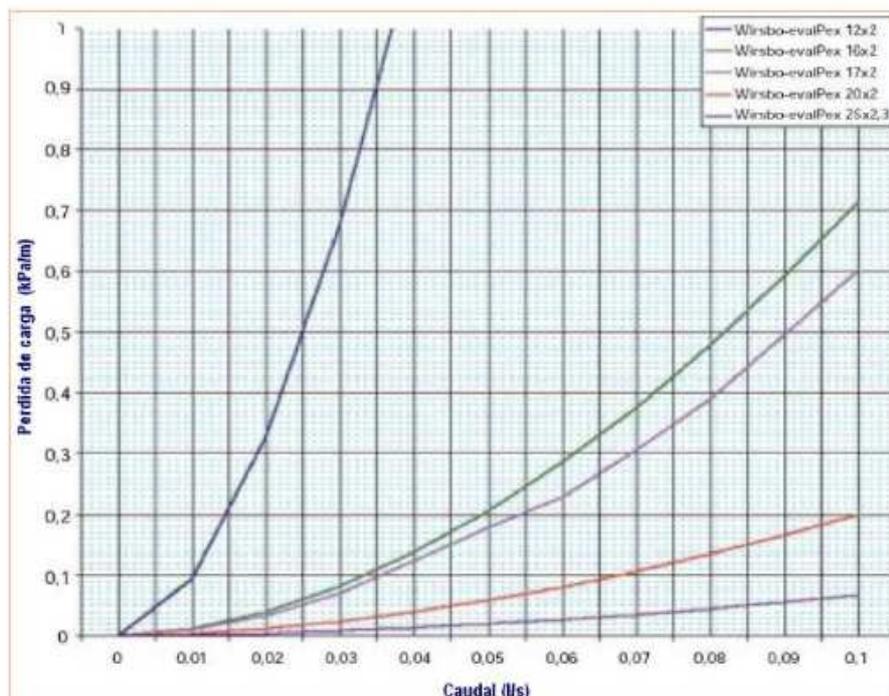


Figura 6.2.2.7: Pérdida de carga en función de caudal

Entrando en el gráfico de pérdidas de carga con 0,1868 l/s y UPONOR wirsbo-
evalPEX 32x2,9 resultan unas pérdidas de carga en tubería de 0,057 KPa/m.,
mientras que la inmediatamente superior nos da unas pérdidas superiores a 0.2
KPa/m.

Por esta razón, obtenemos los siguientes valores de pérdida de carga:

| Estancia | L (m) | Q (L/s) | Pcarga (Kpa/m) | P carga (kPa) |
|----------------------------|-------|---------|----------------|---------------|
| baño 1 | 33,00 | 0,01 | 0,06 | 1,88 |
| salón | 62,06 | 0,02 | 0,06 | 3,54 |
| despacho | 27,75 | 0,01 | 0,06 | 1,58 |
| baño 2 | 26,80 | 0,01 | 0,06 | 1,53 |
| Dormitorio prin. | 69,85 | 0,03 | 0,06 | 3,98 |
| Dormitorio sec. | 53,50 | 0,01 | 0,06 | 3,05 |
| Cocina | 55,50 | 0,01 | 0,06 | 3,16 |
| Hall | 22,40 | 0,00 | 0,06 | 1,28 |
| P carga total (Kpa) | | | | 20,00 |

Tabla 6.2.2.8: Pérdida de carga en función de longitud

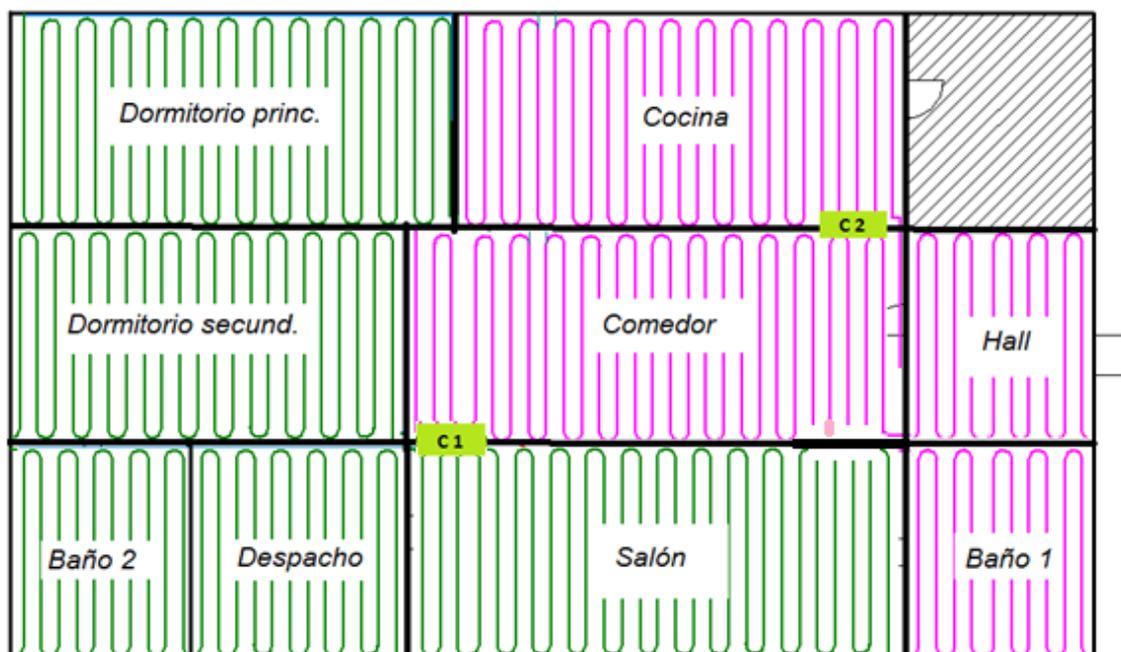


Figura 6.2.2.8: Circuitos conectados a colectores C1 y C2

6.2.3 PISCINA

Como hemos indicado anteriormente, se empleará la piscina como medio de refrigeración y de evacuación de los excedentes que en verano se generan, además de que esto permitirá adelantar la época de baño, templándola un poco a finales de mayo y hasta septiembre.

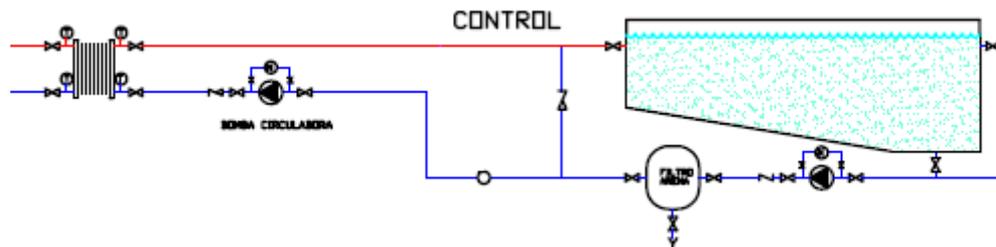


Figura 6.2.3.1: Esquema Circuito secundario de piscina

Se trata de un circuito muy sencillo que comprende desde el intercambiador de calor hasta la piscina. Consiste en circular agua de la piscina por el intercambiador, y devolverla a una temperatura superior.

La cometido que toca diseñar será la siguiente:

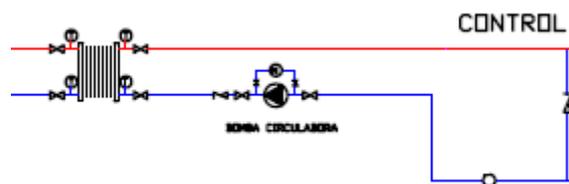


Figura 6.2.3.2: Circuito secundario de piscina a calcular

Pues solo tenemos que conectar el circuito de circulación de agua de la piscina con la sala de calderas, de manera que habrá que calcular la cometido de tubería y la bomba que hace falta para esa pequeña recirculación.

La distancia de la piscina a la sala de calderas será de apenas 8 metros, en línea recta. Como accesorios estará la pérdida de carga del intercambiador y como elementos del circuito dos válvulas de tres vías para conectar al con el circuito de la piscina, y dos codos, tal y como se ve en la figura superior.

Al tratar de unas pérdidas de carga tan pequeñas, y debido al sobredimensionamiento de la bomba de circulación de la piscina, se puede circular el agua por el circuito sin problemas.

Habría que instalar las dos llaves de tres vías, con cierre manual, para poder abrir y cerrar el circuito de intercambio, según convenga.

6.3 SISTEMA DE APOYO

Se trata de una caldera que funciona quemando combustibles fósiles habitualmente, aunque también puede ser termoeléctrico, empleando efecto Joule. Su misión es aportar al agua la energía necesaria para alcanzar la temperatura óptima de utilización, si es que hiciera falta. De la misma forma, si hubiera algún problema con la instalación solar, esta máquina entraría a funcionar, de manera independiente. Por eso se calcula para que pueda abastecer de energía al sistema, por si misma, como si no hubiera ningún otro medio de aporte energético.

Los sistemas de apoyo pueden ser instantáneos y de acumulación.

Instantánea:

- Ventajas
 - Disponibilidad inmediata por tiempo limitado
 - Poco espacio
 - Mas económico
- Inconvenientes
 - Caudal limitado por la potencia del generador
 - Necesidad de potencia de generador muy alta
 - Cada pequeña demanda de ACS implica la puesta en marcha del generador.

Acumulación:

- Ventajas
 - Disponibilidad importante de un caudal punta alto a corto plazo.
 - Baja necesidad de potencia en el generador
 - Cada demanda no implica el funcionamiento del generador.
 - Ahorro de combustible y agua.
- Inconvenientes
 - Ocupación de espacio alta
 - Dificultad de ubicación en locales o viviendas existentes
 - Necesidad de tiempos de recuperación
 - Pérdidas de radiación.

Teniendo en cuenta todas estas valoraciones, y como se puede ver en el plano de la instalación, se ha diseñado de manera que la parte de ACS se haga con acumulación, debido a que va a poder responder mejor a la demanda de ACS instantánea, pues es común que se concentren grandes consumos en un instante.

Además, al tratarse de un sistema solar, la acumulación es necesaria, pues la generación de energía solo se da en horas solares, por lo que hay que acumular esa energía durante el día.

Aunque ya hay acumulación en el sistema solar, se pondrá también antes de la caldera por si el sistema solar fallara, o su aportación fuera débil, que funcione el sistema de apoyo con total comodidad.

En el circuito de calefacción, podemos comprobar que la caldera es de producción instantánea, pues al fin y al cabo, al tratarse de suelo radiante, la aportación es bastante continua en todo el edificio, durante casi todo el día, además de tratarse de un sistema de baja temperatura, la caldera no funcionaría a saltos, y tendría un funcionamiento bastante estable.

Como se trata de un equipo que tiene es de generación instantánea, este necesita ser capaz de regular su potencia de forma que se obtenga la temperatura de manera permanente con independencia de cual sea la temperatura del agua de entrada.

El código técnico prohíbe la incorporación de un sistema de apoyo en el acumulador solar. Por lo que la conexión del sistema de apoyo será en serie a la instalación solar, y se ubicará entre el sistema solar, y el punto de consumo, con el fin de aportar la temperatura al agua que el sistema de apoyo no haya podido elevar.

Como podemos observar en ambos casos, se dispone una llave de by-pass del agua de red al sistema auxiliar para garantizar, en caso de que la instalación solar este parada, que se abastecen los servicios energéticos de ACS y calefacción.

Contaremos con un sistema de apoyo centralizado, de manera que se debe prever un volumen de apoyo, así como suministrar una potencia suficiente.

La temperatura de almacenamiento se limita a 58°C, debiendo distribuirse a una temperatura máxima de 50°C medidos a la salida del depósito acumulador. Así, debido a pérdidas en el transporte, la temperatura de utilización llega a 42°C, por lo que evitamos posibles problemas de quemaduras.

Para calcular el volumen de acumulación y la potencia de la caldera del sistema de apoyo, se deberá partir de la estimación del consumo punta del edificio.

En los sistemas centralizados se llaman temperatura de preparación t_p a la temperatura máxima que alcanza el agua en el acumulador por la acción de la caldera; ésta es mayor que la temperatura de utilización t_u (o de salida hacia la distribución), debido a que aquella, con motivo del gasto, se mezcla en la caldera con agua fría a presión procedente de la red, a temperatura t_e .

En los cálculos que se van a desarrollar hay que distinguir claramente los períodos puntas de consumo de los períodos valle.

La base del funcionamiento de los sistemas centralizados consiste en que en los periodos valles se vaya preparando agua caliente, de modo que puedan satisfacer las necesidades de los periodos puntas, en los que la caldera sería insuficiente para proporcionar el número de calorías requerido. De este modo se consiguen instalaciones eficaces con consumos energéticos racionales.

$$P(\text{en Kw}) = 4,18 \frac{t_u - t_e}{h_v + h_p} \left\{ h_p QM_p + (G - QM_p H_p) \frac{h_v}{H - H_p} \right\}$$

Fórmula 6.3.1: Potencia caldera

$$V(\text{en l}) = \frac{h_v x h_p}{h_v + h_p} (t_u - t_e) \frac{QM_p - \frac{G - QM_p H_p}{H - H_p}}{t_p - 0,4t_u - 0,6t_e}$$

Fórmula 6.3.2: Volumen de fluido para la caldera

ACS

| | | | |
|---------|-------|-----------|-------|
| Te (°C) | 6 | G (L) | 1500 |
| Tp (°C) | 50 | QMp (L/s) | 2 |
| Tu (°C) | 45 | QMv (L/s) | 0,6 |
| hp (s) | 3600 | H (s) | 64800 |
| hv (s) | 25200 | Hp (s) | 7200 |
| | | Hv (s) | 57200 |

Tabla 6.3.1: Valores para cálculo de Potencia y Volumen

Para determinar la potencia de la caldera a instalar, habrá que mejorar la potencia útil en un 40%, como margen de seguridad.

De esta manera, haremos una tabla resumen:

$$P_{ACS} = 19,07 \cdot 1,4 = 26,7 \text{ kW}$$

Para calcular la potencia de demanda para calefacción, será tan fácil como saber la pérdida de carga del edificio, mayorado un 20%

$$P_{SR} = 1,2 \cdot 9,78 \text{ kW} = 11,736 \text{ kW}$$

Por tanto la caldera global será la suma de ambas, teniendo en cuenta un rendimiento de un 90%. De esta manera se obtiene que debe ser de una potencia de 42,706 kW.

6.3.1 CALDERA DE BIOMASA

La caldera de biomasa seleccionada es la caldera del fabricante KWB USV V ZI 50, cuya hoja de especificaciones es la siguiente:



Datos técnicos:

Potencia nominal: 50 kW (30% de contenido de agua)

Rango de potencias: 16,5 - 50 kW

Presión máxima de operación: 3,5 bar

Conexión eléctrica:

400V trifásica con conductor neutro

Tanque intermedio de combustible -KWB: 200 litros

Dicha caldera presenta la siguientes características:

Sistema de combustión kwb:

Sistema de alimentación inferior adaptada para la combustión de astillas G30 conforme a la norma austriaca ÖNORM M 7133 y para pellets de 6 mm de diámetro conforme a la norma ÖNORM M 7135 y otros combustibles. Incluye:

- Tornillo sinfín de alimentación (incluido accionamiento)
- Plato de combustión
- Encendido automático
- 2 Soplantes para aire de combustión
- Sistema de postcombustión
- Dispositivo de extracción automática y prensado de cenizas
- Contenedor de cenizas

Caldera kW:

Caldera con aislamiento completo de lana mineral, con tanque de almacenamiento de biomasa para alimentación desde la izquierda o la derecha. Intercambiador de calor formado por un haz de tubos verticales, con sistema totalmente automático de limpieza.

Ventilador de extracción kW

Ventilador radial de acero para aire caliente, resistente a la corrosión.

Protección contra incendio kW

Mecanismo de protección de retroceso de la combustión, consistente en una compuerta de cierre estanca (se cierra también por fallo eléctrico), para parada de emergencia.

Microprocesador de regulación kwb-comfort

El régimen de funcionamiento de la caldera viene determinado por la demanda térmica, adaptándose gradualmente y de manera automática a los requerimientos de calor. Hardware consistente en:

- Dispositivo de control de la caldera
- Placa base (entradas / salidas). Incluidas conexiones

La regulación consiste en:

- Regulación de la caldera
- Regulación de la temperatura de retorno
- Control del tanque de acumulación de agua caliente
- Control del depósito de inercia

Todas las variables se controlan mediante un sistema de menús mediante un mando con selector giratorio, dos botones de control y pantalla gráfica.

Este sistema, esta preparado para quemar astillas de madera.

Las astillas de madera son trozos pequeños de entre 5 y 100 mm de longitud cuya calidad depende fundamentalmente de la materia prima de la que proceden, su recogida y de la tecnología de astillado. Están recomendadas para el uso doméstico.

En función de su procedencia y calidad, pueden distinguirse dos grupos principales de astillas:

- Astillas de clase 1: provenientes de la industria de la primera y segunda transformación de la madera o maderas forestales muy limpias. Suelen tener humedades menores al 30%, aunque pueden alcanzar el 45%. Apropriadas para su uso en instalaciones domésticas y válidas para todo tipo de instalaciones.
- Astillas de clase 2: procedentes de tratamientos silvícolas, agrícolas y forestales (podas, clareos, entresacas, cultivos energéticos leñosos, etc.). Hasta un 45% de humedad. Utilizada en instalaciones de media a muy alta potencia, como grandes edificios y redes de calefacción.

Como ventaja tiene que, al ser un combustible que tiene un pre tratamiento relativamente sencillo (astillado y, en su caso, secado), tienen un coste inferior a biomásas producidas industrialmente.

Se pueden producir localmente y pueden ser un combustible de alta calidad para calderas de cualquier tamaño, aunque precisan de mayor espacio de almacenamiento que los pellets o el hueso de aceituna.

| Astillas de madera | |
|--|-----------------------------------|
| Origen | Troncos de madera |
| Contenido de humedad | ≤ 20-30% |
| Dimensiones de la fracción principal (> 80% en peso) | Dimensión mayor ≤ 63 mm |
| Densidad energética | < 900 kWh/m ³ apilados |

Fuente: Especificación técnica europea UNE-CEN/TS 14961 EX

Tabla 6.3.1.2: Especificaciones energéticas astillas de madera

Sin embargo, el control de calidad de las astillas de madera y de los residuos agroindustriales es muy importante ya que sus características son poco homogéneas, principalmente en lo que se refiere al poder calorífico y la humedad. Las astillas muy húmedas (> 40%), los trozos de madera grandes en las astillas, así como algunos tipos de residuos agrícolas son poco recomendables en la mayoría de las calderas para edificios y viviendas.

Para calcular el volumen de combustible necesita, y cuanto volumen nos ocupará este para habilitar una sala.

Para ello deberemos predecir los datos de funcionamiento de la caldera.

Teniendo en cuenta que es una caldera de 50kW, y que podemos predecir un funcionamiento de 1500h/año (Valor tipo, tomado habitualmente para el cálculo) obtenemos que la caldera generará una energía de:

$$E = 50 \text{ kW} \cdot 1500\text{h/año} = 75000 \text{ kWh/año}$$

Por otro lado, mirando las características del combustible seleccionado, obtenemos que:

$$C_p = 5,5 \text{ kWh/kg}$$

$$M_{comb} = 75000 / 5.5 = 13636 \text{ kg/año}$$

| Tipo de biomasa | Densidad aparente (kg/m ³) | Poder Calorífico Inferior (kJ/kg) | Volumen de combustible (m ³ /kW) | Volumen del silo (m ³ /kW) | | | |
|---------------------------------------|--|-----------------------------------|---|---------------------------------------|------------|------------------|------------|
| | | | | Suelo inclinado de 1 ó 2 lados | | Suelo horizontal | |
| | | | | por temporada | por semana | por temporada | por semana |
| Pélets de madera o huesos de aceituna | 650 | 18.000 | 0,30 | 0,48 | 0,023 | 0,40 | 0,019 |
| Astillas de madera | 250 | 13.000 | 1,10 | 1,77 | 0,084 | 1,44 | 0,069 |

Nota: se considera 1 temporada de invierno = 1.500 horas

Tabla 6.3.1.2: Volumen de silo en función del combustible

Por lo que podemos observar que necesitamos un volumen de 1,44 m³ por kW instalado, por lo que tenemos un total de:

$$V_{comb} = 1,44 \cdot 42 = 61m^3$$

Al tratarse de un edificio hecho con container con suelo horizontal, de 86,33 m³ vemos que contamos con el espacio perfecto para almacenar la biomasa.

Este almacén se instalará en el piso superior, por tanto se alimentará desde un silo de combustible por encima del nivel de la caldera, de manera que tendremos el siguiente esquema de alimentación de la caldera:

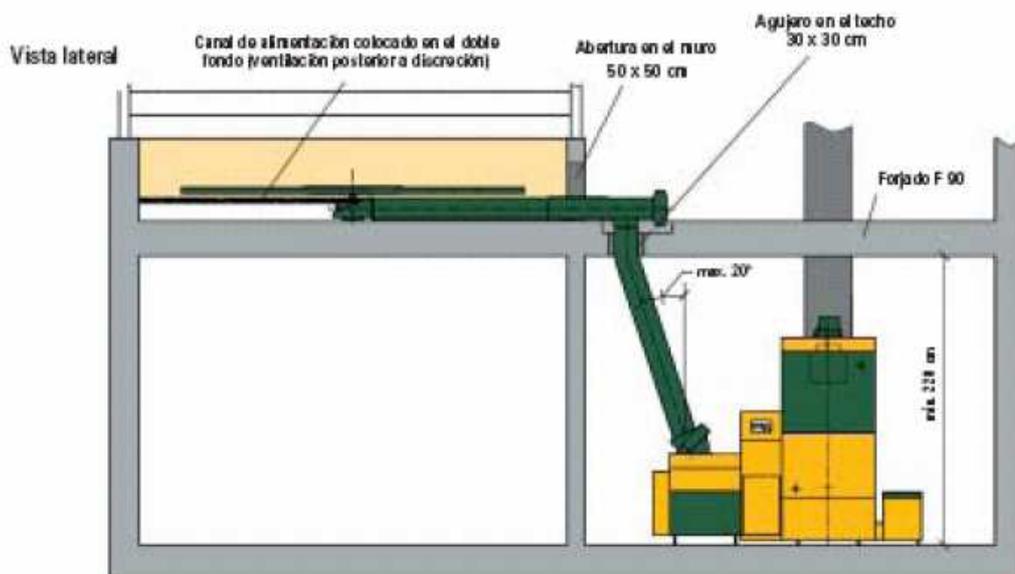


Figura 6.3.1.1: Esquema silo de almacén de biomasa

Donde podemos observar las medidas mínimas que se necesitan para la instalación. Se necesita una altura mínima de 2,3m, contando con el container de altura 2,9 m.

Con suelo horizontal es la opción más acertada cuando se dispone de poco espacio disponible o el combustible tiene poca densidad. El suelo plano necesita de rascadores horizontales hidráulicos, lo que implica un mayor coste pero optimiza el volumen del silo.

Los rascadores giratorios (laminas de acero) son más económicos y pueden utilizarse con una gran variedad de combustibles (piña troceada, astillas de madera, etc.). El sistema de alimentación de la caldera es por tornillo sinfín.

Al tratarse de un silo cuadrado, evitamos los puntos muertos en los que el rascador cree puntos muertos.

El hecho de haber escogido astillas de madera conlleva las siguientes implicaciones:

- Ventajas:

- Su coste de producción es inferior al de los pellet debido al menor proceso de elaboración requerido.
- Las astillas limpias de corteza y secas son normalmente de alta calidad.
- Tiene un grado medio de estandarización a nivel Europeo.

- Inconvenientes

- Son menos densas que los pellets y el hueso de aceituna, por lo que precisan de un espacio mayor para el almacenamiento.
- Al ser menos densas, el transporte sólo se justifica hasta una distancia corta (< 50 km).

- Consideraciones:

- Su composición es variable.
- Es preciso secar la materia prima de forma natural o artificial hasta una humedad inferior al 45%, o incluso menor que el 30%
- Presentan un contenido en cenizas entre el 1% y el 5%

7. IMPACTO AMBIENTAL

7.1 DESCRIPCIÓN

Tradicionalmente para calentar agua sanitaria se ha empleado un calentador o caldera de gas o gasóleo, e incluso leña o carbón. Todos ellos producen en su combustión un hidrocarburo que genera dos gases, vapor de agua y fundamentalmente dióxido de carbono, que son expulsados a la atmósfera.

Estos hidrocarburos tienen una doble problemática.

- Es un recurso de presencia limitada en nuestro planeta.
- Lanzamos al ambiente un gas, CO₂, que afecta al cambio climático.

Este gas, CO₂, es el principal causante del llamado efecto invernadero. Este efecto es producido por la concentración de determinados gases en el ambiente que dejan pasar la radiación del Sol pero que al ser reflejadas parte de dichas radiaciones no dejan que escapen al espacio, confinándolas en nuestro planeta.

Esta acumulación de radiación solar lleva consigo una serie de consecuencias:

- Elevación de la temperatura media en el planeta.
- Elevación del nivel de mar.
- Cambio climático.

El efecto invernadero no sólo es producido por el dióxido de carbono, existen otros gases como el metano, el óxido nitroso, los gases industriales, clorofluorocarbonos, hexafloruro de azufre... que también lo provocan pero podemos decir que el dióxido de carbono es el máximo responsable de este efecto.

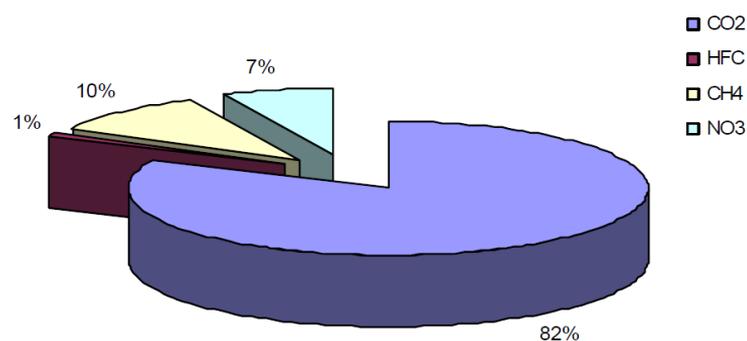


Figura 7.1 : Gráfico gases efecto invernadero

En 1997 se firmó el protocolo de Kyoto donde se acordó luchar contra el cambio climático o cuanto menos mitigar sus consecuencias. Se estableció un calendario de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

El esfuerzo más importante para España para cumplir con Kyoto lo deberá de hacer en el periodo 2008-2012, al final del cual las emisiones no deberán superar en más del 24% las emitidas en el año 1990.

En España se aprobó la Ley 1/2005 de 9 marzo, la cual regula el régimen del comercio de los derechos de emisiones de gases con el efecto invernadero y fomentar la reducción de estos gases de manera eficaz y económicamente eficiente.

El presente proyecto tiene como propósito no tan sólo ahorrarle a la empresa costes de consumo en gas natural y en agua sino también contribuir en lo posible en las reducciones de emisiones de CO₂.

A continuación realizaremos un estudio de las emisiones de CO₂ que se producirían con la instalación solar térmica y las compararemos con las que se están produciendo actualmente.

Para poder llevar a cabo este estudio es necesario utilizar los siguientes factores de conversión:

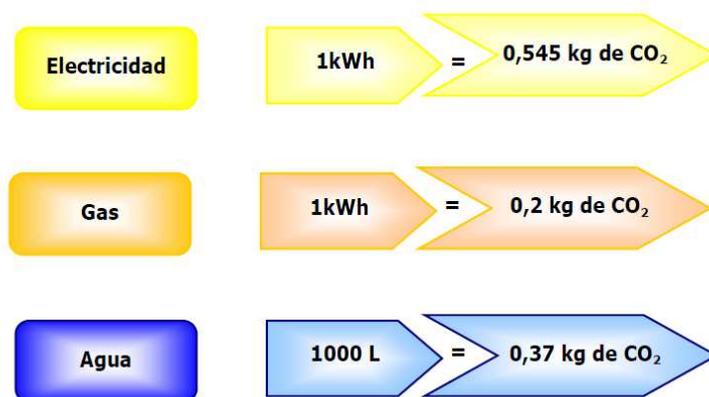


Figura 7.2: Emisiones de CO₂

7.2 EMISIONES DE CO₂ ACTUALES.

La combustión de biomasa no contribuye al aumento del efecto invernadero porque el carbono que se libera forma parte de la atmósfera actual (es el que absorben y liberan continuamente las plantas durante su crecimiento) y no del subsuelo, capturado en épocas remotas, precisamente como el gas o el petróleo. Así lo indica fuentes del IDAE.

Por consiguiente, El uso de la biomasa como recurso energético, en lugar de los combustibles fósiles comúnmente utilizados, supone unas ventajas medioambientales de primer orden, como son:

- Disminución de las emisiones de azufre.
- Disminución de las emisiones de partículas.

- Emisiones reducidas de contaminantes como CO, HC y NOX.
- Ciclo neutro de CO₂, sin contribución al efecto invernadero.
- Reducción del mantenimiento y de los peligros derivados del escape de gases tóxicos y combustibles en las casas.
- Reducción de riesgos de incendios forestales y de plagas de insectos.
- Aprovechamiento de residuos agrícolas, evitando su quema en el terreno.
- Posibilidad de utilización de tierras de barbecho con cultivos energéticos.
- Independencia de las fluctuaciones de los precios de los combustibles provenientes del exterior (no son combustibles importados).
- Mejora socioeconómica de las áreas rurales.

Estas ventajas convierten a la biomasa en una de las fuentes potenciales de empleo en el futuro, siendo un elemento de gran importancia para el equilibrio territorial, en especial en las zonas rurales.

Así, si comparamos las emisiones vertidas al ambiente debido al consumo de gas natural, vemos que estaríamos ahorrando:

$$75.000kWh \cdot 0,204 \text{ KgCO}_2/kWh = 15,3 \text{ Tn CO}_2 \text{ año}$$

De manera que demostramos que ambientalmente es viable frente al gas natural.

La instalación solar por sí misma tampoco genera emisiones, pues no hay combustión de ningún tipo.

De esta manera, los gastos de CO₂ generados corresponderían a la reposición de combustible, cuyas emisiones no se compararán con las de gas natural, por desconocimiento e imposibilidad de averiguar emisiones en su trayecto hasta la vivienda.

Si valoraremos que, el transporte de la biomasa supondrá, para un viaje de un camión, que supondrá según 0,853 Tn de CO₂ al año.

De nuevo, podríamos comparar las emisiones ahorradas en referencia a un combustible fósil, la instalación solar nos ahorraría un total de 8,5tn CO₂ al año, dato que nos muestra automáticamente el programa f-chart.

$$GEI = E \cdot GEI_{gn} = 29660 \text{ kWh/año} \cdot 0,286 \text{ kgCO}_2/kWh = 8,5 \text{ Tn}$$

Ahora sí, estos sistemas disponen de consumos eléctricos. Por ejemplo, el consumo energético de las bombas de la instalación de energía solar, son dos bombas de 220 W, que al no funcionar en casi ninguna ocasión a la vez, se tomará el consumo de una, teniendo en cuenta que en Madrid hay 2710h de sol al año, podemos concretar que consumirá:

$$220W \cdot 2710h = 596,2 \text{ kWh/año}$$

Lógicamente se trata de un cálculo orientativo, ya que la bomba no funciona a la misma velocidad de giro todas las horas del día, todos los meses del año.

Para el sistema de control se ha estimado aproximadamente que el consumo que realiza es de 2W, teniendo en cuenta que este dispositivo está encendido siempre.

$$2 \text{ W} \cdot 24h/día \cdot 365 \text{ días/año} = 17,520 \text{ kWh/año}$$

De esta manera:

$$18116.2 \cdot 0.545 \text{ KgCO}_2/kWh = 9,873 \text{ Tn CO}_2 \text{ al año}$$

De manera que sumaremos un total de:

$$25,173 \text{ Tn CO}_2 \text{ al año}$$

Estos datos son aproximados ya que no hay que olvidar que para la realización de las placas solares como para los materiales que se emplearan en la construcción de este sistema de energía solar térmica se han realizado mediante procesos que han generado emisiones de CO₂, así como los desplazamientos que ha sufrido el equipo hasta su instalación, valores que son mucho mas importantes que los calculados hasta ahora.

8. VIABILIDAD ECONÓMICA

En este apartado vamos a plasmar en datos económicos las ventajas o inconvenientes que presentan los equipos escogidos, con respecto a otros convencionales.

El primer estudio que vamos a realizar será el de la caldera. Hemos escogido una caldera de biomasa, modelo: KWB USV V ZI 50, se trata de una marca algo cara, pero sin duda competente por la calidad de su diseño y sus materiales.

Está ofertada en un precio de 19.585,00 €, precio al que habría que añadirle el IVA y transporte, tal y como indica el presupuesto anexo, tomando un valor final de 23.850,2 €.

Si comparáramos, una caldera de gasóleo, cuyo coste de un equipo equivalente más gastos de instalación sería en torno a 7.543 €, o de propano, cuyo coste sería 8.253 €. Una caldera de Gas natural, que sería quizás una elección más interesante, ronda los 9.631 €.

Tal diferencia de precio se debe, al importante desembolso que supone el alimentador de combustible, así como la adecuación para la alimentación de la máquina, además de que la tecnología es extranjera, y aun no está tan introducida ni es tan demandada como las otras mencionadas.

A pesar de estas diferencias de precio, la principal ventaja económica que tiene la biomasa, es lo barato que es el combustible (astillas).

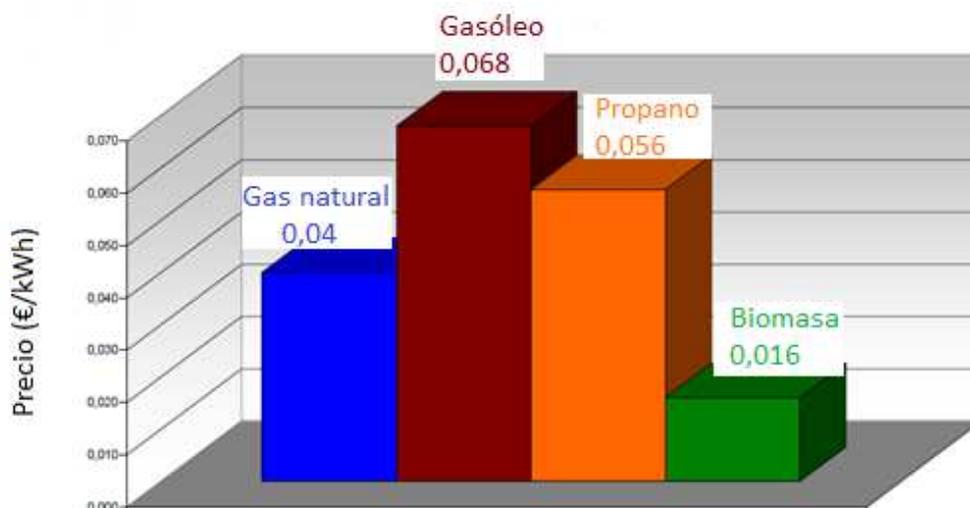


Figura 8.1: Diagrama comparativo precio de combustibles [€/kWh]

Para hacer el estudio comparativo, tomaremos las siguientes necesidades energéticas. Tomaremos 50kW como referencia, funcionando unas 1500h/año, valor de uso recomendado y tomado de forma convencional por el IDAE. De manera que salen unas necesidades energéticas de 75.000 kWh/año.

| | Cp (kWh/Kg) | € / kg | Kg / año | € /kWh | € / año |
|-------------|-------------|--------|----------|--------|---------|
| Gasóleo | 10 | 0,7 | 7500 | 0,068 | 5100 |
| Propano | 12 | 0,67 | 6250 | 0,059 | 4425 |
| Biomasa | 5,5 | 0,016 | 13636 | 0,016 | 1200 |
| Gas Natural | - | - | - | 0,0487 | 3652 |

Tabla 8.1: Costes de combustible

En esta tabla resumen se presentan los valores tomados para tener en cuenta el periodo de amortización.

| | Inversión | Coste anual | Mantenimiento |
|-------------|-----------|-------------|---------------|
| Gasóleo | 7.543 € | 5.100,00 € | 120 € |
| Propano | 8.253 € | 4.425,00 € | 120 € |
| Biomasa | 22.853 € | 1.200,00 € | 200 € |
| Gas Natural | 9.631 € | 3.000,00 € | 150 € |

Tabla 8.2: Costes de utilización

De esta manera, podremos sacar los costes de utilización de las cuatro energías con el paso de los años.

Esto se calcula de manera que cada año se va sumando el gasto que ya había generado la instalación, incluyendo los costes de la inversión inicial (año 0).

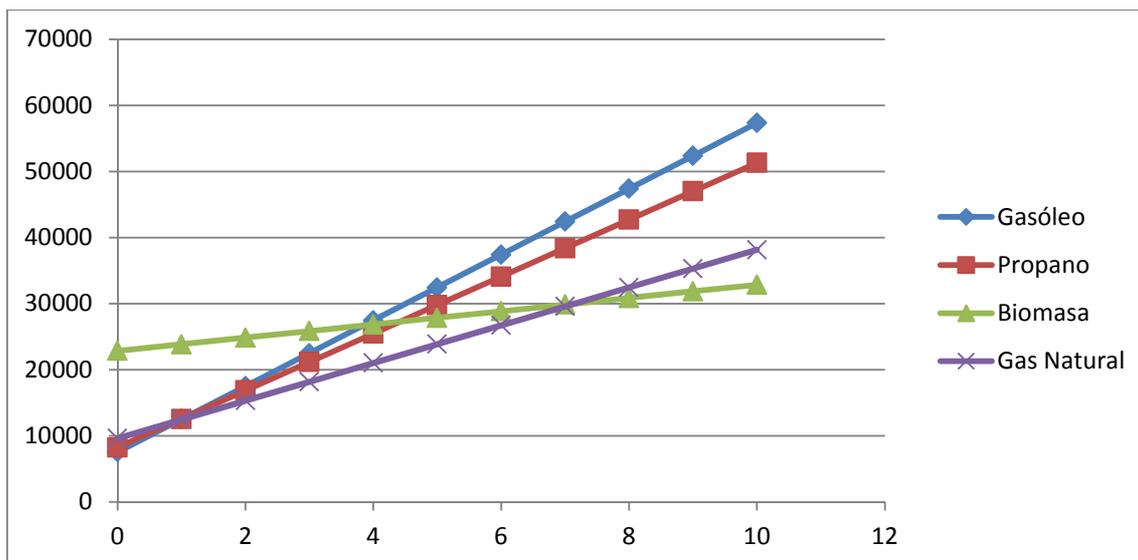


Figura 8.2: Gastos energéticos en el tiempo (X-años, Y-€)

Como podemos observar, la caldera de biomasa iguala gastos de utilización en el año 4 aproximadamente, con la curva del gasóleo y la de propano, de manera que amortizaría la inversión en tan solo 4 años, mientras que a los 7 años lo haría con la curva de gas natural, de manera que si queremos ver el ahorro que nos produce la caldera de biomasa en los primeros diez años, se calcularía con la diferencia de sus cotas. Unos 600€ comparado con el gas natural y unos 2000€ y 2300€ comparado con el propano y el gasóleo.

Por tanto, el ahorro que se obtendría en 25 años sería de 15000€.

Ahora bien procederemos estudiar la viabilidad económica de la instalación de energía solar térmica.

Dicha instalación, tal y como hemos visto produce los siguientes ahorros:

| | | |
|---|--------|---------|
| Necesidad energética total (termias) | 84.112 | Termias |
| Necesidad energética total (kW) | 97.805 | kWh |
| Aporte energético sistema solar (termias) | 29.660 | Termias |
| Aporte energético sistema solar (kW) | 34.488 | kWh |
| Porcentaje de ahorro energético | 35,30% | |

Dichos datos son mostrados por el f-chart, mientras que el como vemos, el ahorro supone un 35,3% del total de la energía necesaria.

De esta manera, comparando con los costes de uso, obtenemos que:

| | | | |
|--|--------------------|--------------------|-------|
| Tipo de energía convencional | | Biomasa (Astillas) | |
| Eficiencia media de la caldera | | 95,00 | % |
| Precio de energía convencional | | 0,016 | €/kWh |
| Gasto anual | Biomasa (Astillas) | 1.200 € | |
| Ahorro anual | Biomasa (Astillas) | 580,86 € | |
| Coste de la instalación de energía solar | | 40.000,00 € | |
| Subvención | | 0,00 € | |
| Total a pagar | | 40.000,00 € | |
| Período de amortización en años | | 68,86 | Años |
| Vida útil de la instalación | | 25 | Años |
| Beneficio económico | | -25.478,58 € | |

Así podemos comprobar que, si queremos cubrir un alto porcentaje de los consumos energéticos del edificio, es inviable emplear un sistema de biomasa, pues su bajo gasto anual, hace que apenas se ahorre dinero. Por lo que si para amortizar la instalación necesitamos 68.86 años, y la vida útil de la instalación se estima en torno a 25 años, podemos concluir que la instalación no es viable.

Como ejercicio, vamos a realizar una comparativa con una caldera de gas natural:

| | | | |
|---|-------------|-------------|---------|
| Necesidad energética total (termias) | | 84.112 | Termias |
| Necesidad energética total (kW) | | 97.805 | kWh |
| Aporte energético sistema solar (termias) | | 29.660 | Termias |
| Aporte energético sistema solar (kW) | | 34.488 | kWh |
| Porcentaje de ahorro energético | | 35,30% | |
| Tipo de energía convencional | | Gas natural | |
| Eficiencia media de la caldera | | 85,00 | % |
| Precio de energía convencional | | 0,0487578 | €/kWh |
| Gasto anual | Gas natural | 3.652,50 € | |
| Ahorro anual | Gas natural | 1.978,33 € | |
| Coste de la instalación de energía solar | | 40.940,97 € | |
| Subvención | | 0,00 € | |
| Total a pagar | | 40.940,97 € | |
| Período de amortización en años | | 20,69 | años |
| Vida útil de la instalación | | 25 | años |
| Beneficio económico | | 8.517,18 € | |

De esta manera podemos observar que la instalación se amortizará en 20 años y medio, dato que se obtiene de dividir el coste de la inversión, con respecto al ahorro que nos genera la instalación solar, cuyo valor es la energía que genera, a un precio equivalente de m³ de gas natural. El cliente se podría ahorrar el cliente en torno a 8500€ en toda la vida útil de la instalación. Por tanto la conclusión es que si es viable económicamente, aunque el periodo de retorno sea bastante elevado.

En cuanto al anticongelante empleado, se puede decir que el propilenglicol, es un compuesto químico que pertenece al grupo de los dioles con un sabor dulce, inodoro, incoloro y con aspecto aceitoso, claro e higroscópico. Es soluble en agua y se emplea como colorante y anticongelante de alimentos.

Según la Food and Drug Administration, es considerado seguro porque dentro del organismo se puede metabolizar y transformarse en ácido láctico.

Aun así es un compuesto al que si tienes largas exposiciones tiene riesgo de cáncer, riesgo para el embarazo, y causar daño en los riñones.

Como hemos comentado, a través de los purgadores se elimina vapor de fluido caloportador, que es mezcla de agua y propilenglicol. Este se mezcla en la atmósfera y se disuelve en el agua, de manera, que puede provocar contaminación y provocar daños en los seres vivos.

9. CONCLUSIONES VIABILIDAD ECONÓMICA E IMPACTO AMBIENTAL.

Se trata de una instalación que, económicamente, no es viable combinar estos dos tipos de sistemas, solo se justificaría dichas instalaciones, si los requerimientos del cliente fueran tales que quisiera emplear energía solar para evitar la emisión de contaminantes a la atmósfera, y su sistema de apoyo fuera tal, que le permitiera reducir drásticamente las las emisiones, sin atender en ningún caso, a la viabilidad económica, simplemente atendiendo al caso medioambiental.

10. OPERACIONES DE MANTENIMIENTO

10.1 INSTALACIÓN SOLAR

El usuario debe realizar las siguientes operaciones de control y mantenimiento al menos una vez al mes:

1. Comprobar la presión del circuito. Ésta comprobación ha de realizarse en frío, preferiblemente a primeras horas de la mañana. Cuando la presión baje de 1.5 kg/cm² deberá proceder al rellenado del circuito hidráulico o ponerse en contacto con la empresa con la que tenga contratada el mantenimiento.
2. Purgar el sistema, eliminando la posible presencia del aire en los botellines de desaireación.

Es recomendable que el usuario se familiarice con las siguientes operaciones básicas de actuación sobre el sistema:

- Llenado del circuito.
- Arranque y parada del sistema.
- Operación sobre los termostatos de control.

Operaciones imprescindibles de mantenimiento a realizar anualmente por personal especializado:

- Control anual de anticongelante.
- Comprobación de la presión y llenado del circuito.
- Purgado del circuito.(incluido cebado de la bomba)
- Comprobación de la presión del aire del vaso de expansión.
- Calibración del sistema de control.
- Comprobación del funcionamiento automático de la bomba.

Además se inspeccionarán visualmente y comprobarán:

- Los colectores.
- El aislamiento.
- Válvulas manuales.
- Ruido de la bomba.
- Tuberías.

10.2 CALDERAS BIOMASA

Como es bien sabido, si bien existen grandes ventajas en el uso de la biomasa como combustible, también hay algunos “peajes”, siendo uno de éstos la limpieza. Este extremo se ha mitigado mediante los sistemas de limpieza automáticos, que reducen de forma importante las acciones manuales necesarias.

Así, la producción de hollín y su depósito en los tubos de la caldera va disminuyendo la capacidad de intercambio de calor entre los gases calientes y el agua contenida en la caldera

No sólo se ha de realizar la limpieza en los pirotubos, sino que también es necesario limpiar periódicamente la parrilla por donde se aporta el aire primario. Así, en el caso de las parrillas fijas, dicha limpieza se ha de realizar periódicamente, típicamente cada mes, quizás cada dos meses.

Para la extracción de cenizas se usan sistemas de desplazamiento mecánicos que tienen que transportar el material ya quemado hasta un área desde donde, generalmente con tornillo sin fin, se trasladan las cenizas hasta un contenedor

Normalmente los hornos utilizados funcionan a depresión, por lo que se hace necesario el uso de una válvula rotativa metálica o un dispositivo que soporte altas temperaturas y que separe los dos circuitos de diferente presión.

Uno de los aspectos a tener en cuenta es la temperatura de las cenizas. Si el horno donde se produce la combustión alcanza temperaturas elevadas y el biocombustible disponible produce unas cenizas con temperatura de fusión reducida, éstas pueden llegar a fundirse. Si esto ocurre, el flujo de aire primario puede quedar limitado, y la calidad de la combustión, y la extracción de cenizas puede sufrir bloqueos o poca efectividad.

Una caldera de agua caliente de biomasa en que se usan agua y combustible adecuados y en la que se van haciendo los mantenimientos preventivos preceptivos, ha de tener una esperanza de vida de alrededor de 20 años

El principal factor de riesgo al que se enfrentarán horno y caldera será la posibilidad de corrosión y ésta puede venir dada por los dos lados del tubo: el que está en contacto con el fuego y el que está en contacto con el agua.

La mayoría de las veces en las que hemos observado corrosiones, éstas se han originado por el lado del agua.

Existen, aparte de la corrosión ácida y oxigénica, otros tipos de corrosión posible, por ejemplo, la provocada por la electrólisis del agua, que puede tener lugar cuando circulan por la caldera y las tuberías corrientes eléctricas. En estos casos, se pueden utilizar ánodos de sacrificio para paliar el problema. Se trata básicamente de unas varas de un metal blando que es atacado por la electrólisis antes que el acero y que actúa no sólo como metal sacrificado para evitar la corrosión del acero, sino como delatador del problema y así poder actuar y buscar la fuente eléctrica interferente.

Por otro lado, el análisis elemental del biocombustibles necesario cuando éste es desconocido. Por ejemplo, se deberían rechazar biocombustibles que mostraran un contenido en azufre elevado ya que, fácilmente, habrá partes, a la entrada del biocombustible en el horno, donde puede llegar a haber condensación y, por tanto, la producción de ácido sería real.

11. PROPUESTAS DE MEJORA

Hay una serie de mejoras que podrían hacerse en el diseño de la instalación. Hay propuestas de reducción económica, y propuestas de mejora técnica de la instalación.

REDUCCIÓN ECONÓMICA

- El circuito primario de la instalación solar térmica podría consistir en emplear una sola bomba doble, y la entrada de fluido a cada subcircuito se haría a través de una válvula de tres vías electromecánica. Esto ahorraría costos en bombas, a costa de perder autonomía en cada uno de los sistemas, y parar la instalación entera en caso de avería.

MEDIDAS DE MEJORA TÉCNICA

- Añadir unos cobertores automáticos en los paneles, de manera que cuando la sonda de temperatura del depósito enviara una señal de temperatura elevada los colectores serían tapados, dejando pasar apenas energía solar al sistema, y permitiendo que se enfríe el sistema rápidamente. También permitiría trabajar con menos paneles a la vez, evitando introducir energía en el circuito que acabaría siendo evacuada. Esta medida no se ha considerado debido al alto coste de estos sistemas.
- Si en vez instalar colectores solares planos, se instalan colectores de tubo de vacío, con las evidentes ventajas constructivas que como el coeficiente de pérdidas que es tres veces menor que el elegido , UNISOL PLUS EVO. Esto significaría mayor aporte energético en invierno, y , gracias a los cobertores, no tendríamos problemas de excesos en verano.
- El empleo de Pellets, en vez de astillas, al tener mayor poder calorífico por kg, haría que el volumen de almacenaje fuera menor, y que consumiéramos menos cantidad al año, pero eso sí, a un mayor precio.

12. TRABAJOS FUTUROS

Como la instalación , y el edificio en sí tiene grandes consumos eléctricos, y gracias a la nueva normativa que se está preparando en España, en cuanto al autoconsumo de energía eléctrica, podría realizarse una instalación de energía fotovoltaica.

La nueva normativa permitirá verter la electricidad que estés generando con tu sistema de fotovoltaica o eólico, y que no estés consumiendo, de manera que la empresa de servicios energéticos realizará un BALANCE NETO de los kWh consumidos y los kWh producidos, de manera que en los meses de menor generación puedan ser compensados por los de mayor generación.

Esto permitirá, en un primer lugar, devolver a España parte de su soberanía energética, y por otro lado impedir un residuo masivo, como son las baterías debido a su corta vida útil, e impedir que millones de toneladas de CO2 sean vertidas a la atmósfera.

Otra aplicación importante podría ser una máquina de absorción de frío. Estas máquinas funcionan a partir de una diferencia muy grande de temperatura entre el foco caliente y el foco frío. Esa diferencia puede ser provocada por cualquier sistema de generación de calor, incluso energía solar que, para climatización de viviendas en verano, ya que hay energía solar disponible suficiente, que demandan temperaturas no demasiado bajas, podría ser una excelente medida de ahorro, pues los consumos eléctricos de generación de frío por compresión son elevados.

De esta manera se daría salida a este excedente de calor que existe en verano, justo cuando se necesita estas condiciones de climatización en las viviendas.

El sistema de frío en las viviendas podría realizarse mediante fan coils, de manera que sería una obra bastante sencilla, y un método eficiente de ahorrar dinero, y evitar vertidos de gases contaminantes a la atmósfera.

13. CONCLUSIONES

El presente proyecto tenía como objetivo analizar la viabilidad técnica, económica y ambiental del empleo de energía solar térmica de baja temperatura en aplicaciones en ACS, calefacción y calentamiento de una piscina, en un bloque de viviendas de bajo consumo, construido con container reutilizados.

El desarrollo del proyecto ha permitido obtener distintas conclusiones. Como vemos presenta dificultades a la hora de obtener la energía solar necesaria para abastecer los consumos que tiene una vivienda. La energía solar que es aprovechable por nuestros sistemas, no es constante, y debido a ello encontramos las distintas estaciones del año. Así, cuando hace mas frío es cuando mas necesitamos de esa energía natural, y es cuando menos disponemos de ella, por el contrario, en verano, cuando menos la necesitamos, es cuando mas tenemos.

De esta manera, hemos demostrado que sería muy difícil abastecer al 100% las necesidades energéticas, además de caro. Por ello, pensar en abastecer más de un 80 o 85% de ACS, y pretender cubrir mas de un 50% de calefacción, ya se transforma en un proyecto totalmente inviable económicamente. En concreto nuestra instalación cubre el 35,5% de la energía demandada por el bloque de viviendas.

Por otro lado, vemos que la biomasa, es una buena alternativa a los combustibles fósiles, pues aprovecha residuos que se generan continuamente, pero hay que trasladarlos, hay que procesarlos, y su combustión no es limpia, aunque como hemos comparado es mas económico, y mejor medioambientalmente que los sistemas basados en combustibles fósiles, además de que se puede controlar la producción y el consumo de la biomasa, haciéndolo una tecnología mas viable y sostenible.

También presenta problemas de almacenaje pues el combustible empleado es bastante voluminoso.

La unión de estas dos tecnologías, es inviable económicamente, aunque muy aceptable medioambientalmente, pues la solar térmica aún es demasiado costosa.

Hemos comprobado también que es el suelo radiante combina perfectamente con la energía solar, y que, aunque es mas caro, y es un sistema mas lento en conseguir sus objetivos, hacen que sea bastante menos costoso , debido a su gran área de intercambio con la vivienda.

También se puede comprobar que, aunque sean sistemas de energía limpia, siempre acarrear algunos consumos eléctricos, los cuales pueden generar unas emisiones importantes sobre la atmósfera, además de tener en cuenta su proceso de fabricación y transporte, el cual genera una gran cantidad de contaminantes.

Por todo ellos, hemos de concluir, que vivimos en un momento en el que las necesidades energéticas que demandamos, son desorbitadas, y que, aunque empleemos “energías limpias” no estamos haciendo desaparecer esos contaminantes, y más si la responsabilidad medioambiental no tiene en cuenta toda la vida útil del proceso.

Creo que es importante dar el paso a las energías renovables y la eficiencia energética porque está logrando cambiar un modelo basado en el uso masivo de petróleo, y está logrando disminuir los efectos nocivos que estos generan,

Uno de los principios que se están tomando es adoptar un modelo de consumo más responsable y más medido y adaptado a los horarios de disponibilidad de energía solar,

Además se están aprovechando materias primas de forma controlada, como la biomasa, más acorde a los ritmos naturales y protegiendo el nivel de consumo a un valor en que estas materias primas se puedan regenerar, de manera que no las agotemos.

14. BIBLIOGRAFÍA

- *Fundamentos de transferencia de calor*. Incropera, Frank P. 4ª Ed., 1999.
- *Tecnología solar*. Ibáñez Plana, M., Rosell Polo, J. R., Rosell Urrutia, J. I. 2004
- *Cargas térmicas*. Venegas, M.
- *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, julio de 2007.
- *Código Técnico de la Edificación*. Ministerio de Vivienda, marzo de 2006.
- *Plan General de Ordenación Urbana de Madrid sobre la Captación y el Aprovechamiento de la Energía Solar Térmica del Ayuntamiento de Madrid*.
- *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura en Instalaciones de Energía Solar Térmica*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). 2009
- *Instalaciones de energía solar: curso programado*. Centro de Estudios de la Energía Solar (CENSOLAR).
- *Energía solar disponible* Universidad Nacional Autónoma de México
- *Documentos Técnicos de Instalaciones en la Edificación*. DTIE 1.01
Preparación de agua caliente para usos sanitarios.
- *Apuntes de la asignatura Instalaciones y máquinas hidráulicas*. Universidad Carlos III de Madrid. 2012
- *Apuntes de la asignatura Energías Renovables*. Universidad Carlos III de Madrid.
- *Energía solar térmica en la comunidad de Madrid fenercom*. Fenercom.2011
- *Calefacción en grandes edificios con biomasa. Aspectos técnicos básicos*". IDAE. 2002
- *"Diseño de una instalación solar térmica multipropósito para un edificio de viviendas"*. Proyecto fin de carrera. José Alberto Herrerueta Martín. Universidad Carlos III de Madrid. 2010
- *"Diseño y calculo de una instalación para climatización Mediante suelo radiante y acs en una vivienda unifamiliar"* Proyecto fin de carrera. Alejandro Morales Melián. Universidad Carlos III de Madrid.2009
- *Manual técnico Suelo Radiante*. Industrial Blansol.
- *Manual de instalación Suelo Radiante*. UPONOR
- www.aemet.es. Página web de la Agencia Estatal de Meteorología.
- www.meteored.es. Página web de Meteored.
- www.iea.org. Página web de la Agencia Internacional de la Energía.

- www.ine.es. Página web del Instituto Nacional de Estadística.
- www.bp.com. Página web de BP. BP-Estadísticas 2007.
- www.ree.es. Página web de Red Eléctrica Española.
- www.cne.es. Página web de la Comisión Nacional de Energía.
- www.idae.es. Página web del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
- www.ine.es. Página web del Instituto Nacional de Estadística.
- www.uponor.es. Página web oficial
- www.lapesa.es. Página web oficial
- www.soliker.es Página web oficial
- www.kwb.at. Página web oficial.
- www.fenercom.com. Fundación de la energía de la comunidad de Madrid

ANEXO 1

Índice de figuras:

| | |
|--|------------|
| <i>Figura 3.1.1: Esquema instalación solar térmica baja temperatura.....</i> | <i>8</i> |
| <i>Figura 3.2.1: Distribución de temperatura según tipo de calefacción.....</i> | <i>9</i> |
| <i>Figura 3.3.2: Diagrama de comparación de costes de combustibles [€/GJ].....</i> | <i>11</i> |
| <i>Figura 3.3.3: Diagrama de comparación de las emisiones del ciclo de vida para distintos combustibles.....</i> | <i>12</i> |
| <i>Figura 4.1.1: Representación colocación módulo solar.....</i> | <i>13</i> |
| <i>Figura 4.1.2: Representación del módulo solar según el ángulo de azimut.....</i> | <i>14</i> |
| <i>Figura 4.1.3: Gráfico de pérdidas según ángulo de azimut.....</i> | <i>14</i> |
| <i>Figura 5.4.1: Componentes de un colector solar térmico.....</i> | <i>20</i> |
| <i>Figura 5.4.2: Esquema de interconexión de captadores en batería.....</i> | <i>22</i> |
| <i>Figura 5.4.3: Esquema conexión baterías con retorno invertido.....</i> | <i>22</i> |
| <i>Figura 5.6.1.1: Vivienda tipo, acotada, según estancias.....</i> | <i>32</i> |
| <i>Figura 5.6.3.1: Diagrama de necesidades vs. Ahorro (Calefacción).....</i> | <i>44</i> |
| <i>Figura 6.1: Esquema de la instalación solar térmica.....</i> | <i>48</i> |
| <i>Figura 6.1.1.1: Esquema cálculo de sombras entre filas.....</i> | <i>51</i> |
| <i>Figura 6.1.1.2: Esquema de una batería de captadores.....</i> | <i>52</i> |
| <i>Figura 6.1.1.3: Dimensiones de la instalación en la azotea (parte izq.).....</i> | <i>53</i> |
| <i>Figura 6.1.1.4: Dimensiones de la instalación en la azotea (parte dcha.).....</i> | <i>53</i> |
| <i>Figura 6.1.1.5: Esquema elementos de conexión de un colector.....</i> | <i>54</i> |
| <i>Figura 6.1.2.1 Red distribución fluido frío (parte izq).....</i> | <i>58</i> |
| <i>Figura 6.1.2.2: Red distribución fluido frío (parte dcha).....</i> | <i>59</i> |
| <i>Figura 6.1.2.3: Red distribución fluido caliente (parte izq).....</i> | <i>59</i> |
| <i>Figura 6.1.2.4: Red distribución fluido caliente (parte dcha).....</i> | <i>60</i> |
| <i>Figura 6.1.3.1: Esquema de conexión de bombas del circuito primario.....</i> | <i>66</i> |
| <i>Figura 6.1.3.2: Diagrama genérico de punto de funcionamiento de la instalación.....</i> | <i>67</i> |
| <i>Figura 6.1.3.3: Punto de funcionamiento de la bomba.....</i> | <i>68</i> |
| <i>Figura 6.1.3.4: Especificaciones de funcionamiento y dimensiones de la bomba UPS 25-80.....</i> | <i>69</i> |
| <i>Figura 6.1.4.1: Vista del depósito.....</i> | <i>70</i> |
| <i>Figura 6.1.6.1: Concentración propilenglicol según temperatura.....</i> | <i>78</i> |
| <i>Figura 6.1.7.1: Esquema instalación con aerotermo.....</i> | <i>79</i> |
| <i>Figura 6.2.1.1: Esquema circuito secundario ACS.....</i> | <i>82</i> |
| <i>Figura 6.2.1.2: Esquema instalación caldera.....</i> | <i>82</i> |
| <i>Figura 6.2.2.1: Esquema instalación suelo radiante.....</i> | <i>83</i> |
| <i>Figura 6.2.2.2: Circuito suelo radiante greca simple.....</i> | <i>84</i> |
| <i>Figura 6.2.2.3: Colectores ida (caliente) y retorno (frío).....</i> | <i>85</i> |
| <i>Figura 6.2.2.4: Esquema Vivienda tipo.....</i> | <i>87</i> |
| <i>Figura 6.2.2.5: Diagrama T^a suelo según flujo calorífico.....</i> | <i>89</i> |
| <i>Figura 6.2.2.6: Diagrama temperatura de impulsión en función de flujo calorífico.....</i> | <i>91</i> |
| <i>Figura 6.2.2.7: Pérdida de carga en función de caudal.....</i> | <i>93</i> |
| <i>Figura 6.2.2.8: Circuitos conectados a colectores C1 y C2.....</i> | <i>94</i> |
| <i>Figura 6.2.3.1: Esquema Circuito secundario de piscina.....</i> | <i>95</i> |
| <i>Figura 6.2.3.2: Circuito secundario de piscina a calcular.....</i> | <i>95</i> |
| <i>Figura 6.3.1.1: Esquema silo de almacén de biomasa.....</i> | <i>102</i> |

| | |
|---|-----|
| Figura 7.1 : Gráfico gases efecto invernadero..... | 104 |
| Figura 7.2: Emisiones de CO2..... | 105 |
| Figura 8.1: Diagrama comparativo precio de combustibles..... | 108 |
| Figura 8.2: Gastos energéticos en el tiempo (X-años, Y-€)..... | 110 |

Índice de tablas:

| | |
|---|----|
| Tabla 3.3.1: Previsiones del plan de Fomento de las energías Renovables en España para el área de Biomasa..... | 10 |
| Tabla 3.3.2: Emisiones en mg / kWh de energía suministrada..... | 11 |
| Tabla 3.3.3: Datos básicos de los biocombustibles para calefacción..... | 12 |
| Tabla 4.1.1: Valores pérdida límite según CTE HE-4..... | 15 |
| Tabla 5.1.1: Radiación horizontal mensual (Fuente: IDAE)..... | 17 |
| Tabla 5.1.2: Datos relevantes Madrid..... | 17 |
| Tabla 5.1.3: Datos relevantes de temperatura Madrid..... | 17 |
| Tabla 5.2.1: Superficie útil de las estancias de las viviendas..... | 18 |
| Tabla 5.2.2: Superficie útil de vivienda y bloque..... | 18 |
| Tabla 5.5.1: Datos relativos de necesidades energéticas..... | 26 |
| Tabla 5.5.2: Datos relativos del captador..... | 26 |
| Tabla 5.5.3: Especificaciones generales UNISOL PLUS EVO..... | 27 |
| Tabla 5.5.4: Cálculo energético..... | 28 |
| Tabla 5.5.5: Aporte energético sistema solar..... | 29 |
| Tabla 5.5.6: Diagrama Necesidades vs. Ahorro (ACS)..... | 31 |
| Tabla 5.6.1.1: Resistencias térmicas materiales de construcción de la vivienda..... | 32 |
| Tabla 5.6.2.1: Temperaturas de diseño de instalación..... | 32 |
| Tabla 5.6.3.1: Características térmicas materiales de cerramientos..... | 34 |
| Tabla 5.6.3.2: Resistencia térmica pared, ventana y convección externa e interna según RITE..... | 35 |
| Tabla 5.6.3.3: Carga térmica a través de la pared..... | 36 |
| Tabla 5.6.3.4: Carga térmica a través de la ventana..... | 36 |
| Tabla 5.6.3.5: Carga térmica total por cerramientos..... | 36 |
| Tabla 5.6.3.6: Carga Térmica sensible por ventilación según la estancia..... | 37 |
| Tabla 5.6.3.7: Carga Térmica latente por ventilación según la estancia..... | 38 |
| Tabla 5.6.3.8: Carga Térmica aportada por electrodomésticos según estancia..... | 39 |
| Tabla 5.6.3.9: Carga Térmica aportada por iluminación..... | 39 |
| Tabla 5.6.3.10: Carga sensible y latente aportada por ocupante según estancia..... | 39 |
| Tabla 5.6.3.11: Datos relativos a las necesidades energéticas..... | 41 |
| Tabla 5.6.3.12: Datos relativos al captador..... | 41 |
| Tabla 5.6.3.13: Cálculo energético..... | 42 |
| Tabla 5.6.3.14: Aporte energético sistema solar..... | 43 |
| Tabla 5.6.3.15: Aporte energético ideal..... | 43 |
| Tabla 5.7.1: Datos geográficos y climatológicos..... | 45 |
| Tabla 5.7.2: Datos relativos a necesidades energéticas..... | 45 |
| Tabla 5.7.3: Datos de ahorro energético..... | 46 |
| Tabla 6.1.1.1: Especificaciones colector plano y tubo de vacío..... | 49 |
| Tabla 6.1.1.2: Especificaciones batería de captadores UNISOL PLUS EVO..... | 50 |
| Tabla 6.1.1.3: Dimensiones y peso UNISOL PLUS EVO..... | 50 |
| Tabla 6.1.1.4: Elementos conectados a una batería..... | 54 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 6.1.2.1: Datos de ahorro energético..... | 55 |
| Tabla 6.1.2.2: Diámetros y datos de las tuberías de cobre..... | 55 |
| Tabla 6.1.2.3: valores pérdida de carga por tramo..... | 61 |
| Tabla 6.1.2.4: Resumen metros lineales de tubería y volumen..... | 62 |
| Tabla 6.1.2.5: Pérdida de carga en elementos singulares según sección..... | 62 |
| Tabla 6.1.2.6: Pérdida de carga global de red de distribución..... | 63 |
| Tabla 6.1.2.7: Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tubería y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el exterior de edificios (RITE)..... | 63 |
| Tabla 6.1.2.8: Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tubería y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el interior de edificios (RITE)..... | 64 |
| Tabla 6.1.2.9: Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tubería y accesorios que transportan fluidos fríos que discurren por el interior de edificios (RITE)..... | 64 |
| Tabla 6.1.2.10: Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tubería y accesorios que transportan fluidos fríos que discurren por el exterior de edificios (RITE)..... | 65 |
| Tabla 6.1.4.1: Características del depósito..... | 70 |
| Tabla 6.1.4.2: Cálculo calor absorbido en el intercambiador..... | 72 |
| Tabla 6.1.4.3: Cálculo temperatura media logarítmica..... | 73 |
| Tabla 6.1.4.4: Prandlt..... | 74 |
| Tabla 6.1.4.5: Longitud entre placas de los intercambiadores..... | 75 |
| Tabla 6.1.4.6: Número de placas de los intercambiadores..... | 75 |
| Tabla 6.1.5.1: Vaso de expansión..... | 77 |
| Tabla 6.1.7.1: Especificaciones de funcionamiento de aerotermos BTU[kW]...79 | 79 |
| Tabla 6.2.2.1: Longitud de circuito según estancia..... | 87 |
| Tabla 6.2.2.2: flujo calorífico según estancia..... | 88 |
| Tabla 6.2.2.3: Flujo calorífico corregido..... | 88 |
| Tabla 6.2.2.4: Temperatura de suelo según estancia..... | 89 |
| Tabla 6.2.2.5: Resistencia térmica en función del tipo de suelo..... | 90 |
| Tabla 6.2.2.6: Temperatura ida/retorno de circuito de suelo radiante según Estancia..... | 92 |
| Tabla 6.2.2.7: Caudal según calor cedido..... | 93 |
| Tabla 6.2.2.8: Pérdida de carga en función de longitud..... | 94 |
| Tabla 6.3.1: Valores para cálculo de Potencia y Volumen..... | 98 |
| Tabla 6.3.1.2: Especificaciones energéticas astillas de madera..... | 101 |
| Tabla 6.3.1.2: Volumen de silo en función del combustible..... | 102 |
| Tabla 8.1: Costes de combustible..... | 109 |
| Tabla 8.2: Costes de utilización..... | 109 |

Índice de fórmulas:

| | |
|---|----|
| Fórmula 5.5.1: Cálculo factor solar f..... | 29 |
| Fórmula 5.6.2.1: Cálculo carga térmica del edificio..... | 33 |
| Fórmula 5.6.3.1: Carga térmica a través de los cerramientos..... | 34 |
| Fórmula 5.6.3.2: Coeficiente de transmisión..... | 34 |
| Fórmula 5.6.3.3: Resistencia térmica..... | 35 |
| Fórmula 5.6.3.4: Carga térmica sensible ventilación..... | 37 |
| Fórmula 5.6.3.5: Carga térmica latente por ventilación..... | 38 |

| | |
|--|----|
| Fórmula 5.6.3.6: Energía solar aportada en termias..... | 42 |
| Fórmula 6.1.2.1: Velocidad del fluido dentro en la tubería..... | 56 |
| Fórmula 6.1.2.2: Reynolds..... | 56 |
| Fórmula 6.1.2.3: Nikouradse..... | 57 |
| Fórmula 6.1.2.4: Colebrook..... | 57 |
| Fórmula 6.1.2.5: Bernoulli..... | 57 |
| Fórmula 6.1.4.1: Número de placas..... | 71 |
| Fórmula 6.1.4.2: Área de intercambio necesaria..... | 72 |
| Fórmula 6.1.4.3: Calor absorbido en el intercambio..... | 72 |
| Fórmula 6.1.4.4: Temperatura media logarítmica..... | 73 |
| Fórmula 6.1.4.6: Coeficiente de convección..... | 73 |
| Fórmula 6.1.4.7: Longitud característica..... | 74 |
| Fórmula 6.1.4.8: Nusselt..... | 74 |
| Fórmula 6.1.4.9: Velocidad de fluido entre placas..... | 74 |
| Fórmula 6.1.5.1: Volumen de vaso de expansión..... | 75 |
| Fórmula 6.2.2.1: Longitud de tubería de circuito de suelo radiante..... | 87 |
| Fórmula 6.2.2.2: Calor necesario transmitido por suelo radiante..... | 90 |
| Fórmula 6.2.2.3: Coeficiente de transmisión..... | 90 |
| Fórmula 6.2.2.4: Calor cedido por circuito de suelo radiante..... | 92 |
| Fórmula 6.3.1: Potencia caldera..... | 98 |
| Fórmula 6.3.2: Volumen de fluido para la caldera..... | 98 |