

TÍTULO:

CLIMATIZACIÓN DE UNA VIVIENDA POR SUELO RADIANTE-REFRESCANTE MEDIANTE ENFRIADORA DE AGUA AIRE/AGUA Y APOYO DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA.

AUTORES:

Manuel Herrero (Jefe de Producto Aire Acondicionado Férroli España)

Raúl Serradilla (Jefe de Producto Energía Solar Férroli España)

EMPRESA:

FÉRROLI ESPAÑA, S.A.

1.- ANTECEDENTES Y UBICACIÓN

El aprovechamiento de la energía solar térmica de baja temperatura no debe quedarse solo en generación de Agua Caliente Sanitaria según las indicaciones del CTE. En zonas climáticas adecuadas, pueden dimensionarse instalaciones de apoyo a calefacción por suelo radiante como complemento a una caldera de calefacción, o a una bomba de calor aire/agua en épocas de demanda de calefacción.

El objetivo de esta ponencia es estudiar la solución: instalación solar + bomba de calor aire/agua con la mayor integración arquitectónica posible, intentando que la solución adoptada sea la más sencilla posible para que su instalación sea factible.

Se van a estudiar una serie de supuestos de instalaciones, para una vivienda ubicada en la zona climática V según el CTE (zona de mayor insolación anual), en la provincia de Alicante, de 4 dormitorios (dato necesario para el dimensionamiento de la instalación de ACS) y una superficie a calefactar de 100 m². Dicha vivienda cuenta con una instalación de suelo radiante/refrescante, y tendrá como apoyo a calefacción y ACS una instalación de energía solar.

Los datos geográficos y climatológicos de la zona en la que se ubica la instalación solar son los que se muestran a continuación:

Provincia:	Alicante	
Latitud de cálculo:	38,35	
Latitud [°/min.]:	38,21	
Altitud [m]:	7,00	
Humedad relativa media [%]:	60,00	
Velocidad media del viento [Km/h]:	9,00	
Temperatura máxima en verano [°C]:	31,00	
Temperatura mínima en invierno [°C]:	0,00	
Variación diurna:	13,00	
Grados-día. Temperatura base 15/15 (UNE 24046):	338,20	(Periodo Noviembre/Marzo)
Grados-día. Temperatura base 15/15 (UNE 24046):	338,20	(Todo el año)

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Annual
Tª. media ambiente [°C]:	11,00	11,80	14,00	15,90	19,00	22,80	25,50	26,10	23,70	19,30	15,20	12,00	18,03
Tª. media agua red [°C]:	10,00	11,20	12,40	13,60	14,80	16,00	17,20	16,00	14,80	13,60	12,40	11,20	13,60
Rad. horiz. [kJ/m²/día]:	9360,00	13540,00	16244,00	20746,00	23720,00	25870,00	26088,00	22446,00	18522,00	13386,00	9264,00	7502,00	17224,00
Rad. inclin. [kJ/m²/día]:	17540,65	21315,92	20082,69	20629,21	20282,71	20563,16	21302,79	20794,39	20946,58	15960,08	15959,60	14257,01	19136,23

Los captadores solares a utilizar serán planos selectivos de alta eficiencia, instalados por superposición arquitectónica, y se estudiarán los aportes energéticos de una instalación de 6, 8 y 10 captadores, con 4 inclinaciones de cubierta posibles (25°-35°-45°-55°) y tres orientaciones distintas (SSE-S-SSO). El objeto de esta parte del estudio es determinar la "instalación ideal", identificándose el óptimo según la mayor cobertura solar (tanto anual como exclusiva del período de uso de la calefacción).



Instalación de captadores mediante superposición arquitectónica.

Se determinará también la acumulación tampón ideal para la superficie de captadores considerada, teniendo en cuenta que debe ser capaz de suministrar como mínimo un volumen de inercia de 1 hora de funcionamiento de la instalación de suelo radiante, y que la elección de volúmenes de inercia muy elevados puede encarecer innecesariamente la instalación. Para el cálculo de este volumen se tendrá también en cuenta que la relación V/A (volumen de inercia entre área de instalación) se encuentre entre 50 y 100 L/m².

Partiendo de la base de realizar una instalación lo más sencilla posible, con objeto de que sea viable técnica y económicamente, se establecerán los parámetros de control de la instalación solar y la enfriadora para un óptimo aprovechamiento, así como la lógica de funcionamiento.

Teniendo en cuenta que la instalación, al estar ubicada en una zona con elevadas cantidades de insolación, y por lo tanto puede pasar períodos frecuentes de estancamiento en épocas estivales, habrá que determinar las características mínimas de los elementos de seguridad de la instalación (válvulas de seguridad, vasos de expansión, ...) así como posibles actuaciones frente a los excesos de energía de la instalación solar térmica tales como el uso de aerotermos ó el calentamiento del vaso de una piscina (en este último caso, volumen ideal de la piscina).

Además, se integrará en esta instalación un sistema de generación de ACS mediante energía solar térmica, dimensionado según las indicaciones de la HE4 del Código Técnico de la Edificación, con un termo eléctrico como sistema de apoyo en épocas de baja insolación (se elige esta opción de apoyo a A.C.S ya que estamos en un estudio inst. solar + bomba de calor, con lo que no tendría mucho sentido colocar una caldera de gas para apoyo, un estudio diferente sería la opción: instalación solar + caldera de gas para calefacción y apoyo a A.C.S). Asimismo, se identificarán las labores mínimas de mantenimiento para asegurar unas condiciones de funcionamiento óptimas.

Para terminar, se realizará una sencilla evaluación económica de la instalación, teniendo en cuenta posibles costes de mantenimiento y considerando una vida útil de 20 años.

2.- DETERMINACIÓN DE NECESIDADES EN ACS

Para una vivienda de 4 dormitorios, según el CTE en su HE4 apartado 3.1.1. Cálculo de la demanda, se ha de considerar que habitan 6 personas, debiendo acumular por cada una de ellas 30 L/día a 60°C. Eso nos supondría un consumo diario de 180 litros a 60°C. Con objeto de ajustar la acumulación a volúmenes comerciales (200 litros) y disminuir la temperatura de acumulación para aumentar ligeramente el rendimiento anual, según la UNE 94002:2005, consideramos 34 L/persona·día a 55°C. Tendremos entonces un consumo medio diario de 204 litros a 55°C.

Asimismo, se parte del supuesto de un 100% de ocupación anual.

Para ese consumo se tienen entonces las siguientes necesidades energéticas:

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Ener. Nec. [Kcal-1000]:	285	250	269	253	254	239	239	247	246	262	261	277	3.082

Además, según el CTE, para ese consumo diario en la zona climática V (dato de partida) debemos asegurar una contribución solar mínima anual del 70%. Suponiendo una inclinación base de 45° (inclinación habitual debido a las condiciones de ubicación de España) para determinar la instalación, con un volumen de 200 litros de acumulación (interacumulador solar de alto rendimiento), para cumplir el mínimo del 70% de contribución solar

necesitaremos 2 captadores selectivos de alta eficiencia de 2'23 m² de apertura cada uno:

$$\text{Curva de rendimiento del colector: } r = 0,788 - 3,955 * (t_m - t_a) / I_t$$

t_m : Temperatura media del fluido en el colector

t_a : Temperatura media ambiente

I_t : Radiación en [W/m²]

Factor de eficiencia del colector:	0,788
Coefficiente global de pérdidas [W/(m ² .°C)]:	3,955

Tendremos entonces una contribución solar del 90'8%:

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Ener. Nec. [Kcal-1000]:	285	250	269	253	254	239	239	247	246	262	261	277	3.082
Ahorros [Kcal-1000]:	227	237	255	253	254	239	239	247	246	218	200	185	2.799
Ahorros [%]:	79,7	94,7	94,7	100,2	102,9	106,8	109,9	107,5	104,1	83,2	76,8	66,7	90,8

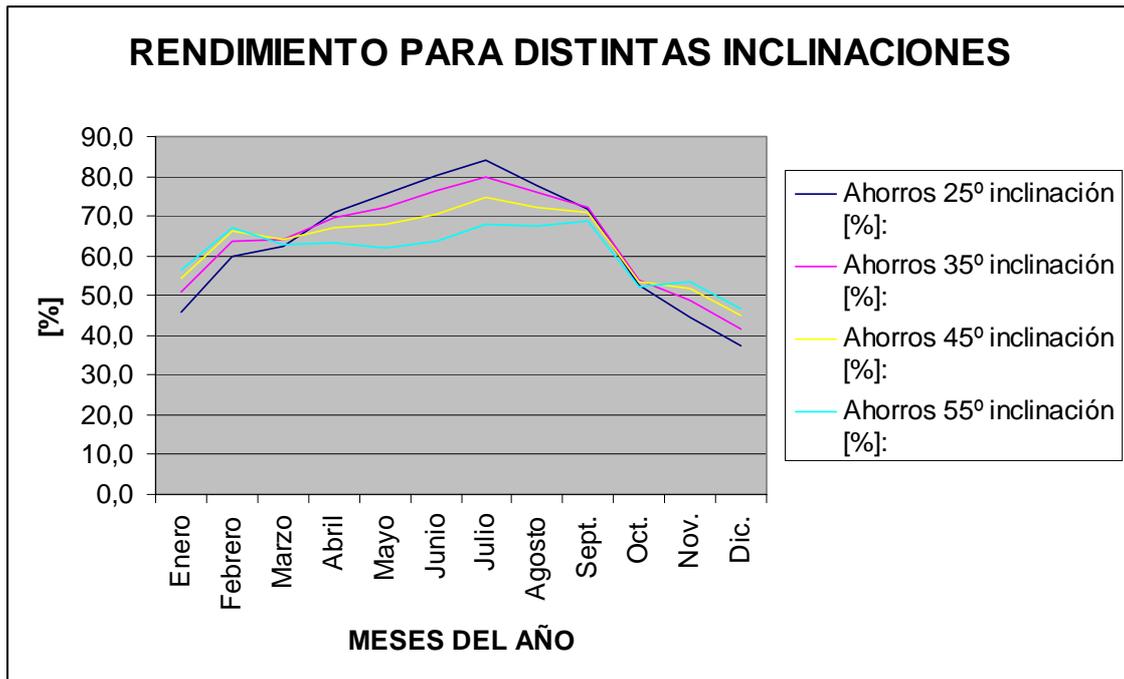
Pero esto nos supondría, por un lado, no cumplir con el apartado 3.3.3.1 de la HE4 del CTE que limita la relación V/A (volumen de acumulación entre área de instalación) entre 50 y 180, y por otro tener durante 6 meses un rendimiento mayor del 100%, con bastante probabilidad de situaciones de estancamiento continuadas en verano.

Consideramos por tanto 1 captador selectivo de alta eficiencia, a pesar de no llegar al 70% de cobertura, para evitar por un lado incumplir con el ratio V/A, y por otro tener durante seis meses del año (de Abril a Septiembre) excedentes energéticos. Tendremos entonces una cobertura media anual del 63'6%, cumpliendo con la relación V/A:

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Ener. Nec. [Kcal-1000]:	285	250	269	253	254	239	239	247	246	262	261	277	3.082
Ahorros [Kcal-1000]:	145	160	173	176	184	182	191	187	177	141	128	115	1.959
Ahorros [%]:	50,9	63,8	64,0	69,6	72,3	76,2	80,0	75,8	72,0	53,8	49,0	41,7	63,6

Estos valores corresponden a una inclinación del 45° en el captador. Para averiguar la inclinación ideal entre 25°-35°-45°-55°, veamos el ahorro medio anual para estas inclinaciones:

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Ahorros 25° inclinación [%]	46,0	59,7	62,5	70,7	75,4	80,4	83,9	77,9	71,5	52,8	44,8	37,2	62,9
Ahorros 35° inclinación [%]	50,9	63,8	64,0	69,6	72,3	76,2	80,0	75,8	72,0	53,8	49,0	41,7	63,6
Ahorros 45° inclinación [%]	54,4	66,2	64,1	67,1	67,8	70,6	74,6	72,3	71,1	53,6	51,9	44,9	62,8
Ahorros 55° inclinación [%]	56,5	67,1	62,8	63,1	61,9	63,6	67,7	67,3	68,6	52,2	53,4	46,9	60,7



A la vista de estos valores, la inclinación a la que corresponde una mayor cobertura anual es de 35°, pero se observa cómo los mayores ahorros en invierno se corresponden a las inclinaciones de 45° y 55°. La selección de inclinación la tomaremos conjuntamente a la instalación de apoyo a suelo radiante.

Como sistema de apoyo se usará un termo eléctrico de 150 litros de capacidad, que en caso de que la instalación solar no aporte la suficiente energía asegure el suministro de agua caliente.

3.- DETERMINACIÓN DE NECESIDADES EN SUELO RADIANTE

En aplicaciones de calefacción, en las que la demanda se produce en invierno, la inclinación de los captadores suele escogerse, al menos, 10° más que la latitud de la localidad en cuestión (38°).

Para el cálculo de la carga de calefacción, se emplea el método de los grados-día, basado en el hecho de que la cantidad de calor necesario para mantener la temperatura interior seleccionada depende de la diferencia de temperaturas entre el ambiente interior y el exterior. Tendremos así que la carga mensual de calefacción de una vivienda es proporcional al número de grados día con base 15-15 del mes en cuestión considerado, a la superficie exterior del edificio, y al coeficiente global de pérdidas del edificio.

Veamos la acumulación también ideal para la superficie de captadores considerada, teniendo en cuenta que debe ser capaz de suministrar como

mínimo un volumen de inercia de 1 hora de funcionamiento de la instalación de suelo radiante, y que la elección de volúmenes de inercia muy elevados puede encarecer innecesariamente la instalación. Para el cálculo de este volumen se tendrá también en cuenta que la relación V/A (volumen de inercia entre área de instalación) se encuentre entre 50 y 100 L/m² (valores óptimos por experiencia).

Así pues, en el calentamiento de 100 m² de superficie por suelo radiante (40°C de impulsión y 30°C de retorno), para asegurar al menos una de 1 hora de funcionamiento sin sol necesitamos un mínimo de 688 litros (para unas necesidades aproximadas de 80 W/m²).

Teniendo en cuenta las siguientes necesidades energéticas según el método de los grados-día:

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Ener. Nec. [Kcal-1000]	2.000	1.600	1.143	581	0	0	0	0	0	0	774	1.714	7.811

Con los supuestos de 6, 8 y 10 captadores de alta eficiencia, de 2'23 m² de área de apertura cada uno, conexiados en paralelo:

Curva de rendimiento del colector: $r = 0,788 - 3,955 * (t_m - t_a) / I_t$

t_m : Temperatura media del fluido en el colector

t_a : Temperatura media ambiente

I_t : Radiación en [W/m²]

Factor de eficiencia del colector:	0,788
Coefficiente global de pérdidas [W/(m ² .°C)]:	3,955

Tenemos que considerando el mínimo de volumen de acumulación para abaratar al máximo la instalación, éste será de 750, 1000 y 1500 litros respectivamente.

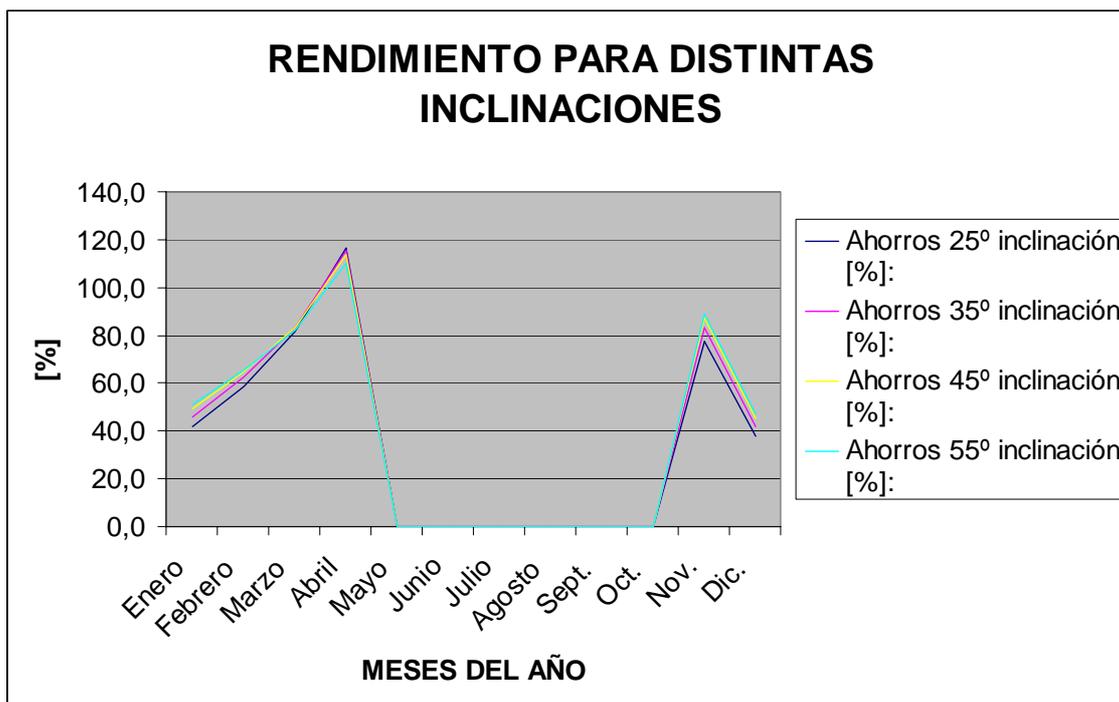
Para una inclinación base de cálculo de 45°, una temperatura interior de cálculo de 20° y un K_G de 1'20 Kcal/(h·m²·°C), veamos las distintas coberturas para determinar "instalación ideal":

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual	Temporad a calefacción
6 paneles y 750 L	49,4	64,8	83,5	113,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	86,9	45,3	64,1	73,9
8 paneles y 1000 L	61,9	79,4	98,0	118,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	99,9	56,9	76,3	85,8
10 paneles y 1500 L	73,3	91,7	108,6	122,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	108,7	67,6	84,3	95,4

Se observa como según aumentamos el número de captadores considerando el volumen de inercia adecuado, aumenta el porcentaje de cobertura solar. No obstante, partiendo de la base de realizar una instalación lo más sencilla y económica posible, se elige la instalación compuesta por 6 captadores y 750 litros de inercia, pues aunque las otras suponen un aumento de la cobertura solar, aumentarían innecesariamente el plazo de amortización.

Estos valores corresponden a una inclinación del 45° en el captador. Para averiguar la inclinación ideal entre 25°-35°-45°-55°, veamos el ahorro medio anual para estas inclinaciones:

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Ahorros 25° inclinación [%]	41,7	58,5	81,6	116,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	77,5	37,6	58,0
Ahorros 35° inclinación [%]	46,2	62,4	83,3	115,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	83,2	42,1	61,7
Ahorros 45° inclinación [%]	49,4	64,8	83,5	113,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	86,9	45,3	64,1
Ahorros 55° inclinación [%]	51,2	65,7	82,0	110,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	88,8	47,2	65,2



A la vista de estos valores, la inclinación a la que corresponde una mayor cobertura anual, en los meses en los que se necesita calefacción, es de 55°, pero esto supondría sólo una ganancia del 1% anual respecto a 45°, por lo que con objeto de tener una óptima integración arquitectónica se elige una inclinación de 45° para la instalación de ACS y para la de apoyo a suelo radiante.

Respecto a las distintas orientaciones SSE-S-SSO, los valores dentro de una desviación del +/- 20° de azimuth no suelen diferir en más de un 5% respecto de la orientación 100% sur, siendo ligeramente superiores los de desviación SSO debido a un mayor número de horas de sol por la tarde en períodos estivales (los de mayor rendimiento). Así pues, aunque se recomienda una orientación lo más exacta hacia el sur posible, no supone un factor determinante.

4.- INSTALACIÓN DE SUELO RADIANTE/REFRESCANTE

La producción de agua fría y caliente para la climatización estará a cargo de un conjunto bomba de calor aire-agua con kit hidráulico, completamente adaptado al funcionamiento para los sistemas de suelo radiante/refrescante, tanto en lo que respecta a las temperaturas de agua producida como a los sistemas de regulación de la temperatura del agua impulsada y a los circuitos hidráulicos que permiten independizar el circuito primario de los secundarios de suelo radiante/refrescante, asegurando en todo momento el mayor nivel de confort de las personas, el funcionamiento de la unidad en condiciones adecuadas y el óptimo consumo de energía.

La bomba de calor está gobernada por un control electrónico con pantalla digital que permite la parametrización de la temperatura de consigna (sobre el retorno del agua a la unidad), además de la visualización del estado y temperaturas de funcionamiento, horas de marcha del compresor, estado del desescarche y otros valores. Este control permite además la modificación de los parámetros de funcionamiento propios de la máquina: temporizaciones del compresor, bomba y ventiladores, variables del desescarche y configuración, lo que permite su perfecta adaptación a cada casuística concreta.

Para el caso en que se quiera trabajar en modo de refrigeración con temperaturas exteriores bajas, o durante los períodos transitorios mientras la unidad entra en régimen, el control permite regular la velocidad del ventilador exterior en función de la temperatura captada por una sonda situada en la línea de líquido. Esta funcionalidad también existe cuando trabaja en modo de calefacción, posibilitando el funcionamiento de la unidad en invierno con temperaturas exteriores superiores a las habituales.

El kit hidráulico de circulación está completamente adaptado a la aplicación de suelo radiante/refrescante. Además de incluir todos los elementos necesarios para la instalación de agua (vaso de expansión, válvula de seguridad, filtro mecánico), dispone de un depósito tampón que independiza los circuitos primario y secundario, además de dotarle a la unidad de una inercia que la protegerá frente a excesivos ciclos de arranque/parada y permitirá que la temperatura del agua a los circuitos sea uniforme.

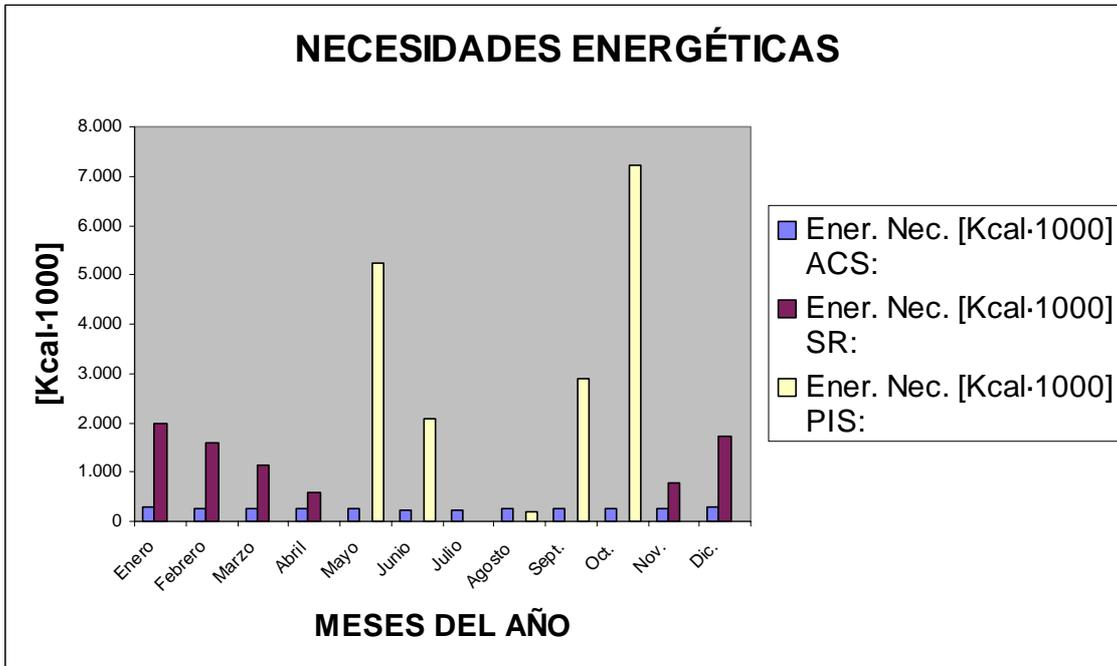
Esta independización hidráulica asegura que en todo momento el intercambiador de la máquina dispone del caudal necesario.

5.- LÓGICA DE FUNCIONAMIENTO

Con objeto de facilitar el mantenimiento de la instalación, en vez de realizar una única instalación de captación para ACS y suelo radiante, se opta por realizar dos instalaciones diferentes tanto hidráulicamente, como desde el punto de vista de control, debido a los diferentes perfiles de necesidades energéticas. Además, se considera la posibilidad de realizar un aporte energético a una piscina exterior del 40m² de lámina de agua y 50 m³ de

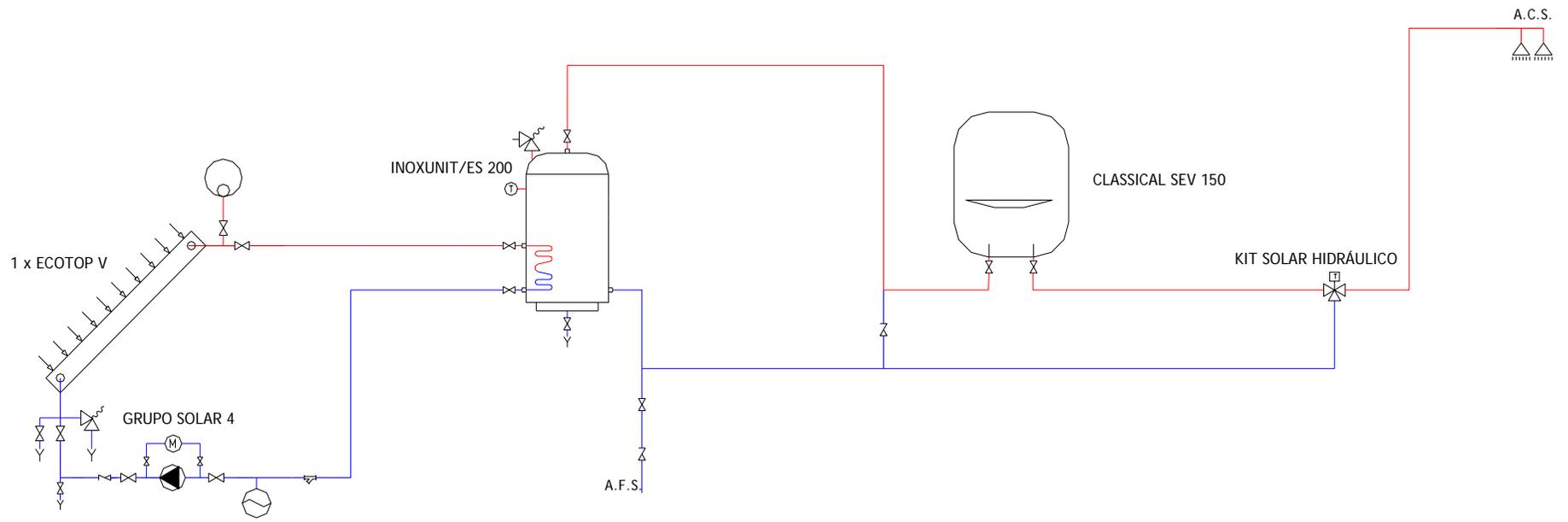
volumen de agua total (1'25 m de profundidad media), para una temperatura de vaso de 26°C y una suposición de no uso de manta térmica:

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Annual
Ener. Nec. [Kcal-1000] ACS	285	250	269	253	254	239	239	247	246	262	261	277	3.082
Ener. Nec. [Kcal-1000] SR:	2.000	1.600	1.143	581	0	0	0	0	0	0	774	1.714	7.811
Ener. Nec. [Kcal-1000] PIS:	0	0	0	0	5.245	2.082	0	209	2.906	7.204	0	0	17.646



Se observa como mientras que la instalación de ACS tiene unas necesidades prácticamente constantes a lo largo de todo el año, la de apoyo a suelo radiante y la de piscina se pueden complementar perfectamente.

De acuerdo al esquema adjunto de la instalación de ACS:



Para la instalación de ACS, de acuerdo al apartado 3.3.7 Sistema de control de la HE4 del CTE, el sistema de control actuará y estará ajustado de manera que la bomba del sistema solar no esté en marcha cuando la diferencia de temperaturas sea menor de 2 °C y no esté parada cuando la diferencia sea mayor de 7 °C. La diferencia de temperaturas entre los puntos de arranque y de parada del termostato diferencial no será menor que 2 °C. De cualquier manera, ha de asegurarse un tiempo mínimo de funcionamiento de la bomba de 3 a 5 minutos, para homogeneizar las temperaturas del circuito primario. Asimismo, cuando se alcance la temperatura objetivo de 55°C en el acumulador, la bomba de primario parará.

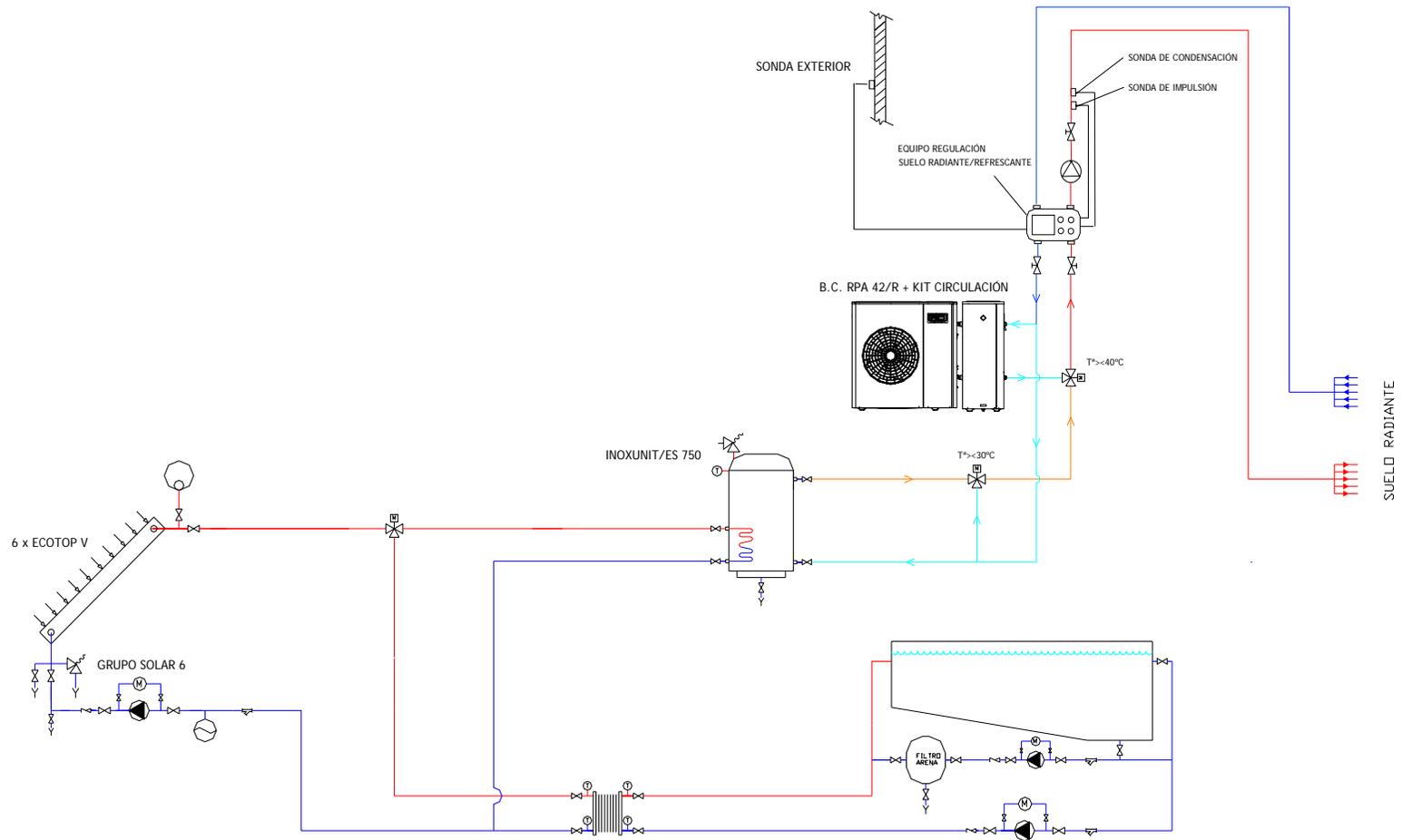


Para la instalación de apoyo a suelo radiante, el sistema de control actuará y estará ajustado de manera que la bomba del sistema solar no esté en marcha cuando la diferencia de temperaturas sea menor de 2 °C y no esté parada cuando la diferencia sea mayor de 6 °C. La diferencia de temperaturas entre los puntos de arranque y de parada del termostato diferencial no será menor que 2 °C. De cualquier manera, ha de asegurarse un tiempo mínimo de funcionamiento de la bomba de 3 a 5 minutos, para homogeneizar las temperaturas del circuito primario. Asimismo, cuando se alcance la temperatura objetivo de 40°C en la parte más fría del acumulador, la bomba de primario parará.

El funcionamiento integrado de la bomba de calor con el circuito solar, indicado en el esquema adjunto, en modo de calefacción, se establecerá:

- Mediante la introducción de una temperatura de consigna acorde con la que se establezca para comandar las válvulas que recirculen el agua desde el acumulador alimentado por los paneles solares. Los límites de esta temperatura de entrada a la bomba de calor tendrán que ser:
 - El límite superior, el de seguridad de la bomba de calor, fijado en 40°C. Cuando la temperatura de impulsión desde el depósito de inercia sea mayor ó igual a 40°C, el agua circulará directamente hacia el circuito de suelo radiante. Cuando ésta sea inferior a 40°C, la bomba de calor situada en serie proporcionará la energía necesaria para el circuito de suelo radiante. Por debajo de este valor, la misma señal que permite la circulación del agua a través del kit hidrónico de la bomba de calor habilitará su entrada en funcionamiento, de manera que su marcha/paro dependerá del punto de consigna que se establezca, entre 30 y 40 °C.
 - El límite inferior, el mínimo a partir del cual queremos que el circuito solar apoye a la bomba de calor en su generación de calor, fijado en 30°C. Cuando el agua que circule por la bomba de calor sea inferior ó igual a 30°C, el 100% de la calefacción estará a cargo solo de la bomba de calor.
- Mediante la orden de paro/marcha por la cual, a partir del punto de consigna (40°C), el sistema para la unidad mediante un contacto libre de tensión que actúa sobre el control de la bomba de calor, y toda la calefacción está a cargo del circuito solar.

Aguas abajo de la unidad, será la centralita de control propia del sistema de suelo radiante la que se encargue de mezclar el agua para obtener la temperatura de impulsión adecuada.



6.- ELEMENTOS DE SEGURIDAD DE LA INSTALACIÓN SOLAR

Teniendo en cuenta que la instalación, al estar ubicada en una zona con elevadas cantidades de insolación, puede pasar períodos de estancamiento en épocas estivales, por lo que habrá que determinar las características mínimas de los elementos de seguridad de la instalación (válvulas de seguridad, vasos de expansión, ...) así como posibles actuaciones frente a los excesos de energía de la instalación solar térmica tales como el uso de aerotermos ó el calentamiento del vaso de una piscina.

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Annual
Ener. Nec. [Kcal-1000] ACS	285	250	269	253	254	239	239	247	246	262	261	277	3.082
Ener. Nec. [Kcal-1000] SR:	2.000	1.600	1.143	581	0	0	0	0	0	0	774	1.714	7.811
Ener. Nec. [Kcal-1000] PIS:	0	0	0	0	5.245	2.082	0	209	2.906	7.204	0	0	17.646

A la vista de los datos de necesidades, los meses del año con mayores probabilidades de que se produzcan situaciones de estancamiento son Julio y Agosto, pues en ellos las necesidades de energía por parte de la piscina son prácticamente nulas.

Desde el punto de vista de presión, la selección de las válvulas de seguridad se deberá realizar teniendo en cuenta la máxima presión que pueden soportar los elementos del circuito primario (ésta nunca debería ser inferior a 6 bar), teniendo en cuenta los incrementos que sufrirá la instalación desde frío debido a las temperaturas que se pueden llegar a alcanzar (fácilmente 140°C en verano) y a las diferencias de altura captadores-acumulación.

Debido a estas altas temperaturas de primario, el vaso de expansión, además de instalarse en la parte más fría del circuito primario, debe tener una membrana capaz de soportar estas condiciones de trabajo. Se recomienda asimismo que la tubería de conexión entre el circuito y el vaso no se aisle térmicamente, pudiéndose si se quiere intercalar un acumulador entre el circuito y el vaso de expansión.

Para evitar la posible succión de aire en la instalación, el vaso de expansión ha de trabajar a una presión mínima que garantice que la presión en frío en el punto más alto sea superior a la atmosférica (alrededor de 0'5 bar).

En el dimensionamiento del volumen del vaso de expansión, además de seguir las indicaciones de la UNE 100-155, ha de considerarse la posibilidad de que vaporice parte del circuito primario, por lo que se deberá sobredimensionar el vaso de expansión con el volumen total de fluido en captadores y al menos un 10% del total de volumen de primario correspondiente a tuberías.

De cualquier manera, el sistema de control deberá usar en épocas estivales el depósito de inercia como sistema para disminuir la temperatura de primario, de tal manera que cuando la temperatura de primario solar sea superior a un determinado valor (por ejemplo 140°C), éste intercambie calor con el depósito de inercia hasta subir la temperatura al máximo valor de éste (normalmente 90°C). Además, con objeto de disminuir la temperatura del

depósito, por la noche se podrá optar por realizar circulación nocturna por captadores usando éstos para disipar energía, ó circular agua hacia el intercambiador de la piscina.

7.- MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN DEL CIRCUITO SOLAR

Las labores mínimas de mantenimiento serán operaciones de inspección visual, verificación de actuaciones y otras, que aplicadas a la instalación deben permitir mantener dentro de límites aceptables las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad de la instalación.

El mantenimiento debe realizarse por personal técnico competente que conozca la tecnología solar térmica y las instalaciones mecánicas en general. La instalación debe tener un libro de mantenimiento en el que se reflejen todas las operaciones realizadas así como el mantenimiento correctivo.

Se incluirán además todas las operaciones de mantenimiento y sustitución de elementos fungibles ó desgastados por el uso, necesarias para asegurar que el sistema funcione correctamente durante su vida útil.

Basándonos en el apartado 4.2 Plan de mantenimiento de la HE4 del CTE, las labores podrían ser:

CADA 3 MESES:

- Inspección visual de la instalación con objeto de detectar posibles fugas, defectos ó funcionamiento incorrecto.
- Limpieza de la cubierta de vidrio de los captadores.
- Se puede realizar por el propio usuario.

CADA 6 MESES:

- Inspección de los captadores solares y de sus bancadas para verificar su buen estado: corrosión, agrietamientos, roturas, deformaciones, fugas, ...
- Comprobación visual de los circuitos para verificar el buen estado de las canalizaciones y del aislamiento.
- Comprobación de la presión de los circuitos y rellenado si fuese necesario.
- Purga de aire.
- Accionamiento de las válvulas para evitar agarrotamiento

CADA 12 MESES:

- Comprobación del estado de la protección catódica de los acumuladores.
- Comprobación de la eficiencia de intercambio de los intercambiadores de calor.

- Comprobación del estado del líquido anticongelante.
- Accionamiento de las válvulas de seguridad.
- Verificación del funcionamiento de la regulación, de las protecciones eléctricas, y del sistema de apoyo.

8.- MANTENIMIENTO DE LA BOMBA DE CALOR

Las operaciones de control de la unidad que se describen a continuación no requieren conocimientos técnicos específicos, y están representadas por simples controles de algunos componentes de la unidad.

La tabla siguiente enumera los controles aconsejados que deben efectuarse y la correspondiente frecuencia.

DESCRIPCIÓN	SEMANAL	MENSUAL	SEMESTRAL
Control visual de la estructura de la unidad			•
Control de la instalación hidráulica		•	
Control de la instalación eléctrica		•	
Control de la sección de condensación		•	
Lectura y ajuste de los parámetros de trabajo	•		

- Control visual de la estructura de la unidad:
 - Verificar el estado de las partes que constituyen la estructura de la unidad, en especial en lo relativo a las partes sujetas a oxidación.
 - Comprobar la fijación de los paneles externos de la unidad.
 - Fijaciones no correctas que provoquen ruido y vibraciones anómalas.
- Control de la instalación hidráulica:
 - Comprobar visualmente que el circuito hidráulico no presente fugas.
 - Comprobar que el filtro de agua esté limpio.
- Control de la instalación eléctrica:
 - Comprobar que el cable de alimentación que conecta la unidad con el cuadro de distribución no presente rasgaduras u otros daños que comprometan su aislamiento.

- Control de la sección de condensación:
 - Comprobar que la superficie de la batería esté libre de obstrucciones provocadas por cuerpos que puedan reducir el caudal de aire del ventilador y por lo tanto las prestaciones de la unidad.
 - En caso de que haya que limpiarlo, quitar con un cepillo o manualmente (respetando las normas de seguridad antes mencionadas) todas las impurezas, como papel, hojas, etc., que puedan obstruir la superficie de la batería.
 - Si los cuerpos se han depositado en las aletas y no se logran extraer manualmente, usar un chorro de aire a presión o agua sobre la superficie de aluminio de la batería teniendo cuidado de orientar el chorro en sentido vertical respecto a la batería para no dañar las aletas.
 - "Peinar" la batería con la herramienta adecuada, deslizando el peine por las aletas en el caso existan partes dobladas o aplastadas.

- Electroventiladores helicoidales:
 - Comprobar visualmente el estado de la fijación del electroventilador en la rejilla de soporte y de esta última en la estructura de la unidad.
 - Fijaciones imperfectas provocan ruido y vibraciones anómalas.

9.- EVALUACIÓN ECONÓMICA

Para terminar, se asentarán las bases para poder realizar una sencilla evaluación económica de la instalación solar, teniendo en cuenta posibles costes de mantenimiento y considerando una vida útil de 20 años.

El coste de los materiales de una instalación solar completa (incluyendo la obra necesaria para realizar la instalación) supone un desembolso de 650 a 950 euros por metro cuadrado de instalación, en función de la complejidad de la obra y de la tecnología del colector y de control de la instalación empleada.

Los costes de operación y mantenimiento se sitúan en torno a 180 euros al año, dependiendo de los elementos fungibles que haya que sustituir.

BIBLIOGRAFÍA:

- Integración de los sistemas solares térmicos en la edificación. FÉRROLI ESPAÑA, S.A.
- Ideas Básicas de Climatización. FÉRROLI ESPAÑA, S.A.
- Energía Solar Térmica. Manual del Proyectista. Junta de castilla y León
- DTIE 8.03. Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria. Atecyr.
- Sistemas solares térmicos. Diseño e instalación. Solarpraxis y Consolar.
- Pliego de condiciones técnicas de instalaciones de baja temperatura. IDAE.
- Código Técnico de la Edificación.
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios
- UNE EN-12975
- UNE 100-155
- UNE 94002:2005