

CLIMATIZACIÓN DE VIVIENDA UNIFAMILIAR CON BOMBA DE CALOR AGUA-AGUA Y SUELO RADIANTE.

Cada vez más, las sociedades modernas valoran la calidad de vida. Desde el punto de vista de la climatización, tenemos dos factores a considerar: el confort ambiental y la preocupación por preservar el medio ambiente. Ambos en principio se podrían considerar antagonistas, es decir, para tener confort se necesita la utilización de energía y para producir ésta hay que “contaminar” de una u otra manera, por tanto, el reto planteado es como mantener esta calidad de vida alterando lo menos posible nuestro hábitat natural. En lo que respecta a la calefacción y refrigeración, tenemos que pensar en sistemas innovadores que sean capaces de conseguir el bienestar térmico con el menor consumo de energía posible.

En este artículo se va a describir la climatización de una vivienda unifamiliar mediante la utilización de suelo radiante todo el año y una bomba de calor agua-agua captando energía geotérmica de aguas subterráneas, resultando una instalación de alta eficiencia energética.

1. - Descripción general de la vivienda.

La vivienda se encuentra ubicada en la Campiña Sur Cordobesa, en pleno geográfico de Andalucía, expuesta a grandes variaciones de temperatura, típicas del clima continental (O.M.D. = 17.5°). Se encuentra emplazada en el casco urbano, de tipo adosada con dos fachadas, la de la calle orientada al oeste y la interior al este, con acceso al jardín y a la piscina descubierta.



Tiene un semisótano donde se encuentran la sala de máquinas, el vestuario de piscina con su cuarto de aseo, y dos plantas climatizadas la Baja (135 m²) destinada a Salón con doble altura, cocina- comedor, Biblioteca y cuarto de aseo, y la Alta (155 m²) con cinco dormitorios y dos cuartos de baño y el hueco del salón de la planta baja de 16 m². Dentro del confort ambiental interior o confort total, hay que considerar:

- Confort térmico.
- Confort acústico.
- Luminosidad natural.
- Espacios abiertos y estéticos.

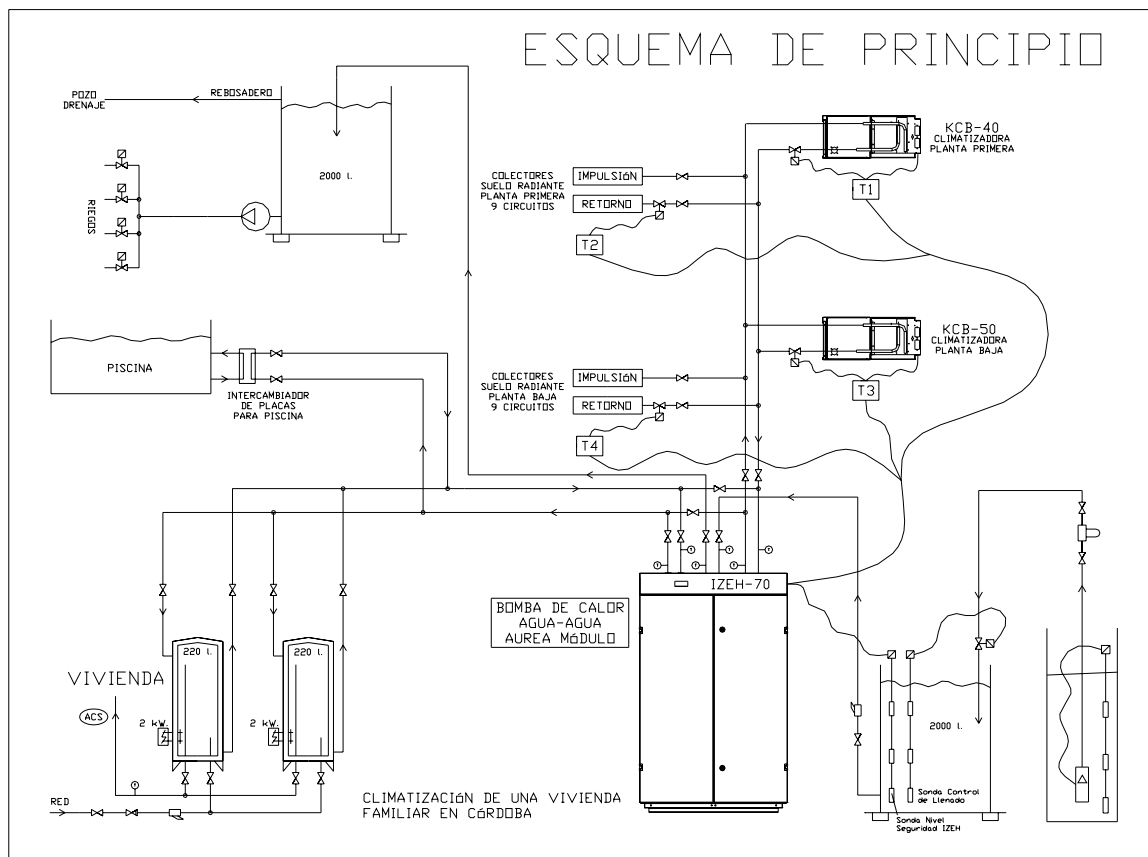


Para el cumplimiento de las dos últimas consideraciones se cuenta con grandes superficies acristaladas (un 70% en la fachada este y un 35% en la fachada oeste) por lo que para cumplir las dos primeras se han utilizado cerramientos, y en especial en la carpintería exterior materiales con una alta resistencia térmica y acústica, en concreto la carpintería es de aluminio anodizado con rotura de puente térmico y vidrio laminar (3 + 4) a ambos lados de la cámara de aire de 16 mm de espesor. Con estas características constructivas ($K_g = 0.70 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$) ya se consigue reducir el consumo energético, minimizándose además con el sistema de climatización elegido.

2. - Sistema de climatización.

A continuación se hace una descripción general del sistema de climatización elegido y que está representado en el esquema de principio correspondiente.

- Captación de energía de aguas subterráneas en dos niveles freáticos, el primero a 24 m y el segundo a 40m. La temperatura del agua oscila todo el año entre 18 y 19 °C y después de su aprovechamiento térmico se revierte otra vez al subsuelo en un pozo que hace de sumidero.
- Bomba de calor agua-agua reversible internamente mediante la válvula de 4 vías incorporada en el circuito frigorífico. Cuenta también con recuperador de gases calientes para producción de Agua Caliente Sanitaria (A.C.S.) y regulación con variación del punto de consigna en función de la temperatura exterior. Por otro lado, va equipada con un módulo hidráulico con lo que la convierte en un equipo muy completo que exige muy poca instalación en obra.
- Suelo radiante para calentamiento de la vivienda en invierno y que también se utiliza como base de la refrigeración en verano.
- Una unidad climatizadora por cada una de las dos plantas para su utilización en invierno en el supuesto que se precise una puesta a régimen rápida (p.e. después de unas vacaciones) , y fundamentalmente como apoyo en refrigeración en los días muy calurosos del verano.
- Dos Depósitos de doble camisa de 220 litros de capacidad cada uno de ellos para la producción y almacenamiento del A.C.S.
- Un intercambiador de calor para calentamiento del agua de la piscina con el fin de alargar la temporada de uso de la misma.
- Contratación eléctrica con tarifa nocturna para reducir los costes de explotación y utilizar la energía eléctrica cuando hay mas disponibilidad de la misma y por tanto es un 55% más barata que por el día.



2.1. - Captación de energía de aguas subterráneas. (GEOTERMIA).

Antes de comenzar la construcción de la vivienda se hizo un sondeo de 220 mm de diámetro encontrándose agua a 24 m de profundidad con un caudal de 2200 l/h pero se continuó con la perforación apareciendo a 40 m otra capa freática donde se comprobó que el caudal era al menos de 5000 l/h, siendo ya bastante superior a los requeridos por la instalación (entre 1800 y 3500 l/h).

Como medida de seguridad se llegó hasta 56 m, siendo el coste total de 2100 €.

Con una bomba sumergible se lleva el agua a un depósito de 2.000 litros de capacidad y una vez que ha pasado por la bomba de calor se deja en otro depósito también de 2.000 litros, y desde este, se utiliza la necesaria para regar el jardín y el resto se devuelve al pozo de drenaje (a menor o mayor temperatura en invierno o verano, respectivamente) ya existente en la parcela, que está a 20 metros de distancia del sondeo de captación.

Ni que decir tiene que esta suerte de disponer de agua en muchas ocasiones no es posible, pero lo que sí es cierto que si se cuenta con la posibilidad de aprovechamiento geotérmico bien con aguas subterráneas o bien con captación de calor con circuitos cerrados de refrigerante (evaporador o condensador) o de agua en captadores verticales u horizontales, conviene utilizarla porque desde el punto de vista de rendimiento energético son opciones mejores que las obtenidas con equipos frigoríficos que trabajan

con aire exterior, y por supuesto, que las obtenidas con otros generadores de calor que utilicen cualquier tipo de combustible o directamente la energía eléctrica por efecto Joule. El único sistema más eficiente que este que estamos describiendo sería la utilización de un grupo de cogeneración aprovechando la producción de energía eléctrica y el calor residual para calentamiento directo en invierno y la refrigeración mediante un equipo de absorción, pero parece claro que esta solución es inviable económicamente para implantarla en una vivienda unifamiliar.

2.2. -Bomba de calor agua-agua.

Hasta hace poco tiempo en el mercado sólo estaban disponibles bombas de calor agua-agua en las cuales el condensador y el evaporador siempre hacen la misma función: el primero calienta el agua y el segundo la enfría, así pues, para cambiar del ciclo de invierno al de verano hay que hacerlo externamente a la máquina por medio de un conjunto de válvulas de cierre manuales o electroválvulas de dos o tres vías para llevar el agua caliente o fría al circuito interior, y por tanto, hacer lo contrario en el circuito exterior. Esto representa hacer en obra instalaciones relativamente complicadas con los consiguientes problemas de operación y mantenimiento. Entre otras cosas, los condensadores y evaporadores en la mayoría de los casos trabajan en circuito abierto o cerrado dependiendo de si la temporada es invierno o verano, y como consecuencia, quedan expuestos a un mayor ensuciamiento y corrosión.



Bomba de calor
Modelo IZEH-70

La innovación ha permitido el uso de bombas de calor agua-agua reversibles internamente mediante la utilización de válvulas de 4 vías para el cambio de ciclo frigorífico de tal forma que ya hay que hablar de dos intercambiadores freon agua, uno para el circuito hidráulico interior (vivienda), y el otro para el circuito hidráulico

exterior (aprovechamiento geotérmico). De esta forma, el intercambiador interior será condensador cuando tenga que calentar el agua (calefacción en invierno y producción de ACS en temporadas intermedias) y evaporador cuando tenga que enfriarla, pero siempre trabajará en el mismo circuito cerrado. Evidentemente el intercambiador exterior trabajará de forma contraria al interior pero también sin cambiar de tipo de circuito, siempre abierto o cerrado según el sistema escogido de captación de calor geotérmica.

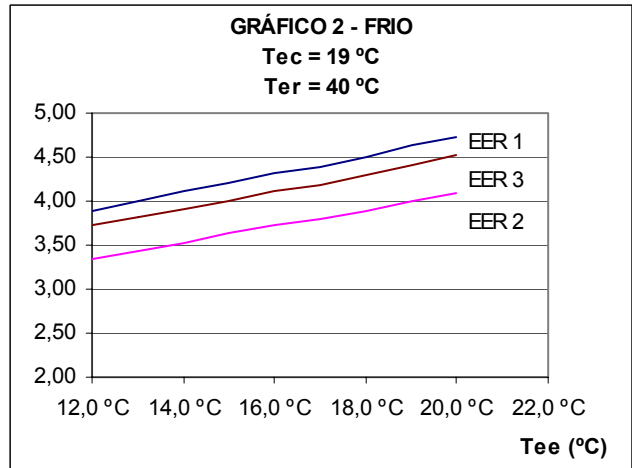
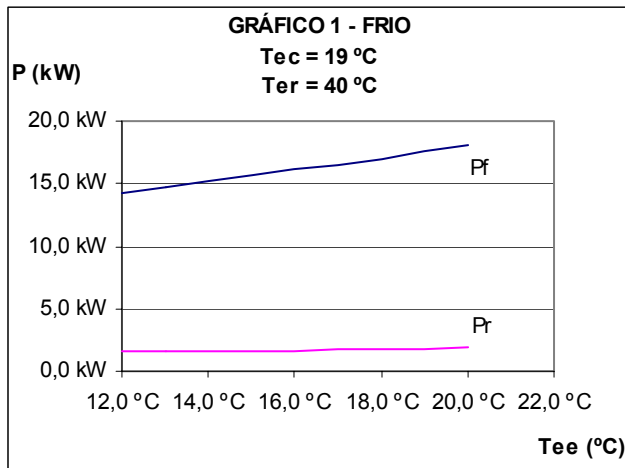
Otra de las mejoras importantes desde el punto de vista de aprovechamiento energético es la incorporación de recuperación de gases calientes, que su función es especialmente importante en la temporada de verano.

El recuperador de gases calientes se monta en la descarga del compresor quedando en serie con el condensador y trabajando a temperaturas medias aproximadas del fluido frigorígeno de 70°C en la entrada y 50 °C a la salida del mismo, por lo que puede producir agua a temperaturas en la salida en torno a 55°C cuando la instalación está trabajando con el suelo radiante. Sin embargo, cuando se está trabajando con fancoils o climatizadores, es decir , con temperaturas medias de agua (43°C) en el circuito de calefacción se pueden conseguir hasta 70°C en la salida del recuperador, que son bastantes superiores a las que se pueden obtener en el condensador . En definitiva, se puede considerar como un suplemento previo al condensador para trabajar en la zona donde sólo hay intercambio de calor sensible, sin que se produzca intercambio de calor latente por cambio de estado (condensación). Queda claro que tenemos un límite de potencia en el recuperador de calor, que normalmente se diseña con una potencia del 20% de la potencia calorífica total de la máquina, de manera que cuando no haya necesidades caloríficas demandas al recuperador (por ejemplo el ACS ya tiene la temperatura de 60°C) el equipo sigue funcionando como una bomba de calor normal sin recuperación. Esta potencia de recuperación es variable en función de las condiciones de trabajo del circuito frigorífico siendo en esta instalación en concreto del 10 % y 15% de media en verano e invierno respectivamente ya que trabajamos con presiones y por tanto con temperaturas de condensación muy bajas.

Como ya sabemos, el EER (coeficiente de eficiencia energética) se define como la relación entre la potencia térmica útil que obtenemos y la potencia eléctrica que absorbe (Pa) la bomba de calor (B.C.). Pues bien, en ciclo de producción de agua fría la potencia útil que obtenemos es la potencia frigorífica (Pf) del evaporador más la potencia calorífica del recuperador (Pr) de calor (una media del 12% de la potencia calorífica del condensador en esta instalación) por lo que el EER será ,

$$(Pf+0.12xPc)/Pa=(Pf+0.12x(Pf+Pa))/Pa = (1.12xPf/Pa+0.2xPa/Pa=1.12x\text{EER}+0.12.$$

Es decir, hemos mejorado ostensiblemente la eficiencia energética o dicha de otra forma **la producción de A.C.S. es gratis** mientras estemos en ciclo de verano.



En las condiciones de temperatura del agua de entrada al condensador (Tec) de 19°C y al recuperador de gases calientes (Ter) de 40°C, en el Gráfico 1 podemos ver la evolución de la potencia frigorífica (Pf) y de la potencia de recuperación (Pr), y en el Gráfico 2, la de los coeficientes de eficiencia energética (EER) en función de la temperatura del agua de entrada al evaporador (Tee), siendo:

$$EER 1 = Pf/Pa .$$

Pa es la potencia absorbida por la B.C. incluyendo compresor y sus tres electrobombas.

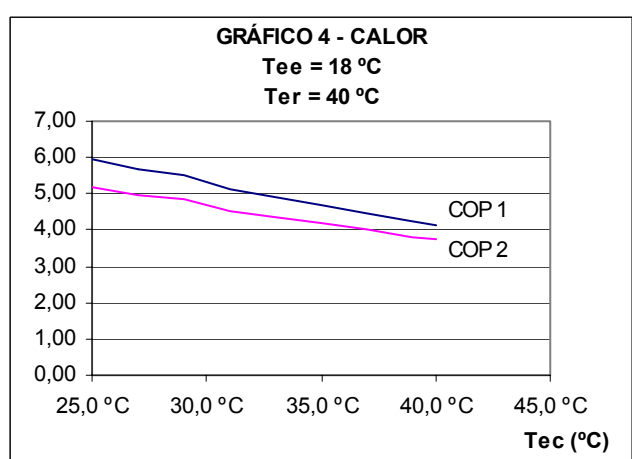
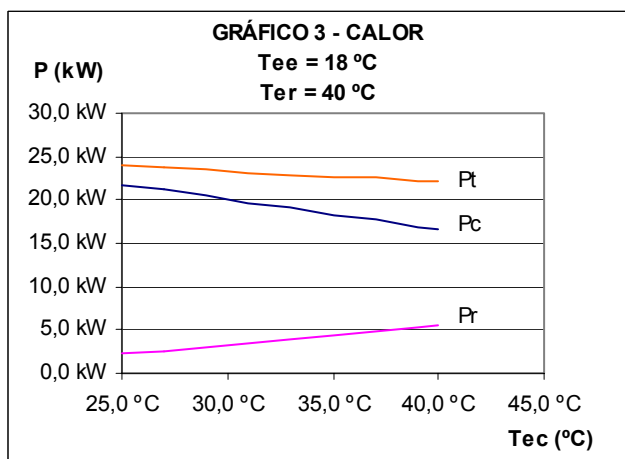
$$EER 2 = Pf/Pat.$$

Pat es la potencia absorbida total que incluye la Pa de la B.C. y la potencia absorbida por la bomba sumergible del pozo.

$$EER 3 = (Pf + Pr)/ Pat.$$

Cuando el equipo está recuperando.

Sin embargo, en ciclo de calefacción la eficiencia energética, COP, es la misma ya que la potencia calorífica total que esté dando el recuperador de gases calientes se la está quitando al condensador. Dicho de otra forma, si el recuperador está produciendo A.C.S. la potencia disponible del condensador para calefacción es un 12% menor con los datos que estamos manejando. De cualquier forma, esto no es un gran inconveniente pues lo que estamos haciendo es dándole prioridad a la producción de A.C.S.



Para las condiciones de temperatura del agua de entrada al evaporador (T_{ee}) de 18°C y al recuperador de gases calientes (T_{er}) de 40°C, el Gráfico 3 muestra la potencia calorífica (P_c) y la potencia de recuperación (P_r), y el Gráfico 2, los coeficientes de eficiencia energética en calor (COP) en función de la temperatura del agua de entrada al condensador (T_{ec}), siendo:

$$COP\ 1 = P_c/P_a .$$

P_a es la potencia absorbida por la B.C. incluyendo compresor y sus tres electrobombas.

$$COP\ 2 = P_f/P_{at}.$$

P_{at} es la potencia absorbida total que incluye la P_a de la B.C. y la potencia absorbida por la bomba sumergible del pozo.

Otra de las innovaciones incorporadas que simplifica enormemente la regulación y control de la temperatura ambiente y de la instalación en general es el microprocesador electrónico que lleva esta Bomba de Calor que, aparte de las funciones típicas de control y seguridad de un equipo frigorífico, tiene las siguientes funciones:

- Temporizaciones para adelantar la puesta en funcionamiento y retardar el paro de la electrobomba circuladora de agua del circuito hidráulico exterior respecto al arranque y parada del compresor respectivamente. La electrobomba del circuito interior también cuenta con estas temporizaciones excepto cuando las paradas y arranques del compresor son debidas al termostato de regulación que controla la temperatura del agua de entrada a la máquina, es decir que pare o arranque por temperatura de consigna.
- Contadores de horas de funcionamiento y lectura de sondas de temperaturas.
- Variación del punto de consigna (T_c) dependiendo de la temperatura exterior (T_e), tanto en verano como en invierno.

Mediante la parametrización en el microprocesador de las siguientes variables: Temperatura de consigna inicial (T_{ci}), Constante de compensación (C_p), Temperatura de inicio de la compensación (T_i) y Diferencial máximo (D) respecto a la temperatura de consigna inicial (T_{ci}), se puede hacer la recta de maniobra que mejor se adapte a las características de la edificación, al tipo de instalación y a la climatología del lugar.

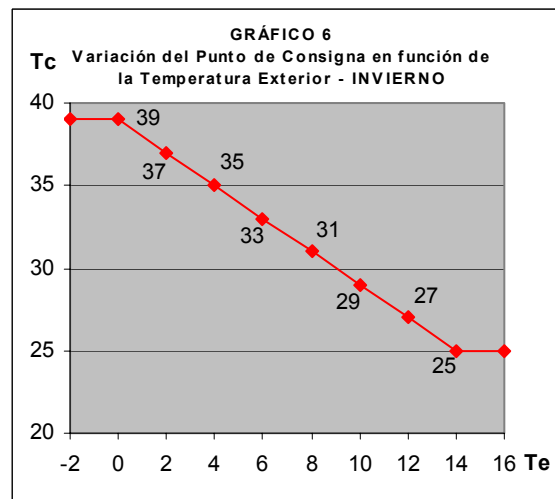
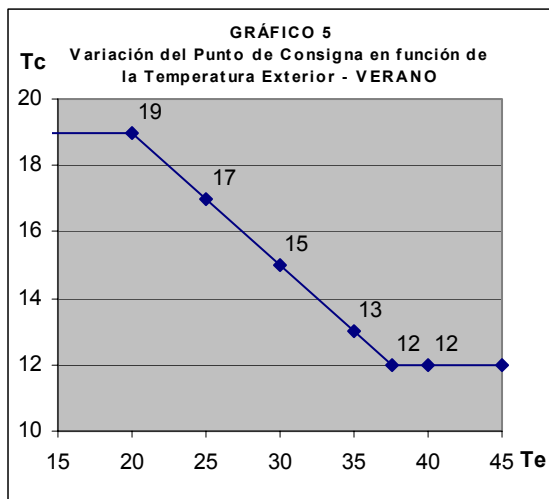
La temperatura de consigna (T_c) sigue la siguiente regla

$$T_c = T_{ci} - \text{mínimo} (C_p \times (T_e - T_i) , D) \text{ en ciclo de frío (verano).}$$

$$T_c = T_{ci} + \text{mínimo} (C_p \times (T_i - T_e) , D) \text{ en ciclo de calor (invierno).}$$

En esta vivienda (ver gráficos 5 y 6) en concreto se han dejado asignados los siguientes valores,

		<u>Verano</u>	<u>Invierno</u>
• Temperatura de consigna inicial,	T_{ci}	19°C	25°C
• Constante de compensación,	C_p	0.4	1
• Temp. inicio de la compensación	T_i	20°C	14°C
• Diferencial máximo respecto a T_c	D	7°C	14°C



Esta función descrita de la variación del punto de consigna es muy importante en los siguientes aspectos:

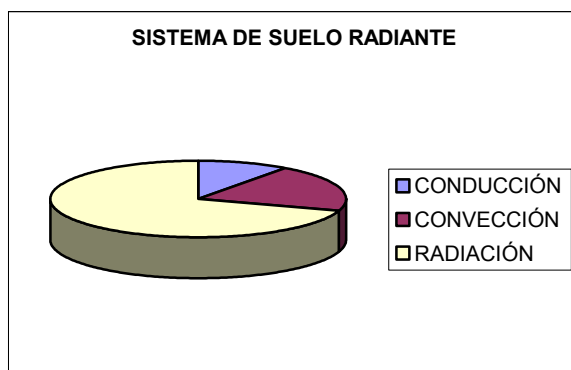
1. Al estar la energía almacenada en el suelo radiante en función de la evolución de la temperatura exterior, permite la utilización de la Tarifa nocturna sin que se tenga el problema de un excesivo almacenamiento durante la noche, ya que normalmente las temperaturas diurnas están relacionadas con las de la noche anterior.
2. Las condiciones de trabajo de la bomba de calor van a ser siempre las más favorables, ya que en verano trabajará con un punto de consigna lo más alto que se lo permita la temperatura exterior, y por tanto, al trabajar con temperaturas y presiones de evaporación altas se mejora el EER. En invierno el punto de consigna será lo más bajo posible con lo cual la temperatura y presión de condensación al ser más bajas aumentará el COP. Es evidente que se mejora la eficiencia energética de este sistema frente a todos aquellos que trabajan con temperaturas de consigna fijas, p.e. 40°C y 12°C en invierno y verano respectivamente, para después mezclar el agua de salida de la máquina con la de retorno en los casos en que se quiera, como es muy lógico, tener compensación en función de la temperatura exterior.
3. Se simplifica la instalación porque a pesar de tener un sistema mixto de suelo radiante y climatizadores cada uno de ellos puede trabajar con su temperatura idónea. Por ejemplo, por la noche en verano estamos acumulando frío en el suelo con una temperatura de consigna de 17°C ($T_e = 25^\circ\text{C}$), y en el caso, que se dará con mucha frecuencia, que haya que poner por el día en marcha los climatizadores, el punto de consigna estará a 12°C ($T_e \geq 37.5^\circ\text{C}$).

Como se puede ver los tres puntos anteriores están ligados entre sí, y como resumen se ve que con este sistema se simplifica la instalación, se mejoran las condiciones de confort, se aprovecha la tarifa nocturna y se trabaja con una alta eficiencia.

2.3. - Suelo radiante.

El suelo radiante como sistema de calefacción se remonta a la edad romana, y en la primera mitad del pasado siglo se utilizaba en viviendas de zonas rurales con el sugerente nombre de "gloria". La técnica empleada era la circulación por canales en el suelo de gases calientes procedentes de procesos de combustión directa de materiales

tales como madera, paja, etc. Evidentemente el sistema ha ido evolucionando, y de forma espectacular en los últimos 25 años, en especial en las tuberías de plástico de polietileno reticulado y en las termoplacas base Ferco-Floor como las que se han utilizado en esta vivienda. Actualmente en la mayor parte del centro y norte de Europa es el sistema de calefacción más utilizado porque reúne las ventajas de confort, ahorro energético y estética por tratarse de un calor “invisible” emitido por una gran superficie trabajando a bajas temperaturas (la temperatura media superficial del suelo es de 25 a 28°C), permitiendo que el gradiente de temperatura desde el suelo (22°C a 5 cm) hasta la zona de ocupación (20°C a 180 cm) se ajuste perfectamente a las exigencias de bienestar térmico del cuerpo humano. Todo ello es debido a que la transmisión de calor se realiza fundamentalmente por radiación (70%) con lo que tenemos una distribución homogénea de temperatura, movimientos de aire convectivos muy bajos (0.05 m/s) y nula estratificación del aire lo cual reduce las pérdidas de calor por el techo.



**FERCO PEX EVAL TUBERÍAS
POLIETILENO RETICULADO CON
BARRERA ANTIDIFUSIÓN DE
OXIGENO**



Está claro que las excelencias del suelo radiante en invierno están contrastadas, **pero que pasa en verano con la refrigeración .?** , pues que tenemos una limitación de potencia térmica para enfriamiento como consecuencia de la temperatura mínima superficial del suelo. Por un lado, para personas que tengan poco movimiento o estén sentadas esta temperatura superficial no debería bajar de los 20°C, y por otro, tampoco debería bajar de 19°C para evitar condensaciones de agua en el propio suelo.

La potencia calorífica que puede absorber un suelo frío está en función del tipo de material utilizado, del diámetro y separación entre tubos, y de la temperatura media y del caudal de agua que circula por ellos. Pero en cualquier caso, la máxima potencia térmica no será superior a 60 W/m², salvo en suelos en los que incida directamente la radiación solar en los cuales la capacidad de absorción podría llegar hasta el doble, por lo que resulta insuficiente para las necesidades de la mayoría de las instalaciones de nuestro entorno geográfico.

FERCO SISTEMAS SUELO RADIANTE
Fercó - Floor

1. Termoplaca FERCO está vaporizada y microfundida por sus caras externas creando su última molécula plastificada evitando tener que instalar la barrera antihumedad o anticondensación.



FERCO SISTEMAS SUELO RADIANTE
Fercó - Floor

5. Termoplaca FERCO diseñada para trabajar en frío + calor o sólo calor tal que sus tetones tienen una distancia de instalación de 6'5 cm. de separación y sus múltiplos.

INSTALACION FRIO+CALOR A 13 CM. DE SEPARACION, DANDONOS UNA POTENCIA DE 120 W. EN CALOR Y 60 W. EN FRIO



INSTALACION SOLO CALOR A 19 CM. DE SEPARACION, DANDONOS UNA POTENCIA DE 90 W. EN CALOR

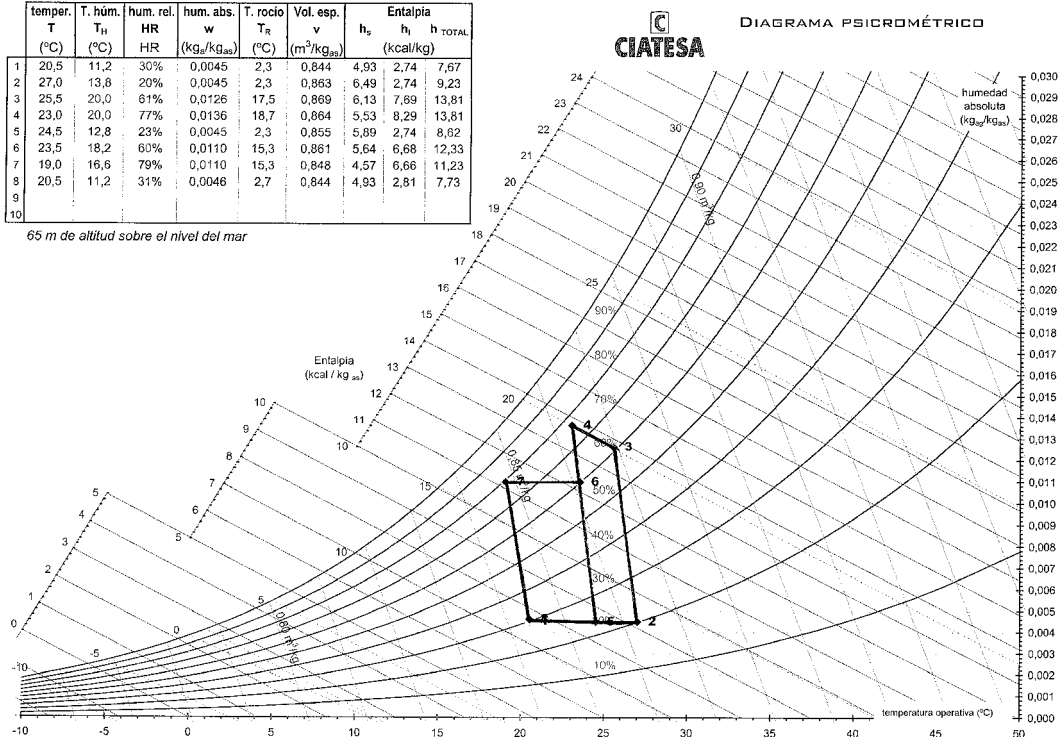
Por otro lado, como vemos toda la potencia que es capaz de dar un suelo frío es sólo sensible que nos bajará la temperatura del aire aumentando la humedad relativa, ya que la humedad absoluta debe permanecer constante para evitar las condensaciones, y como consecuencia nos podemos quedar fuera de la zona de bienestar térmico.

En las normas ASHRAE esta zona de bienestar definida para personas con baja actividad (1.2 MET) y grado de vestimenta normales de verano (0.5 clo) que se representa (zona 2-3-4-5) en el diagrama 1 del aire húmedo.

Diagrama 1

temper. T (°C)	T. húm. T _h (°C)	hum. rel. HR	hum. abs. w (kg _a /kg _{sa})	T. rocío T _r (°C)	Vol. esp. v (m ³ /kg _{sa})	h _s	Entalpia h _i (kcal/kg)	h _{TOTAL}	
1	20,5	11,2	30%	0,0045	2,3	0,844	4,93	2,74	7,67
2	27,0	13,8	20%	0,0045	2,3	0,863	6,49	2,74	9,23
3	25,5	20,0	61%	0,0126	17,5	0,869	6,13	7,89	13,81
4	23,0	20,0	77%	0,0136	18,7	0,864	5,53	8,29	13,81
5	24,5	12,8	23%	0,0045	2,3	0,855	5,89	2,74	8,62
6	23,5	18,2	60%	0,0110	15,3	0,861	5,64	6,68	12,33
7	19,0	16,6	79%	0,0110	15,3	0,848	4,57	6,66	11,23
8	20,5	11,2	31%	0,0046	2,7	0,844	4,93	2,81	7,73
9									
10									

65 m de altitud sobre el nivel del mar



da como resultado que habría un porcentaje del 20 % de personas insatisfechas (PPI). Como podemos ver este índice es algo elevado (en una buena instalación el PPI sería del 5%), ya que la delimitación de la zona es amplia con márgenes de temperatura

operativa de 23 y 27°C (eje de abscisas del diagrama en este caso) y aún mayor en el margen de humedad relativa entre el 20 y el 77% (nota: el límite del lado derecho de la zona del diagrama nº1 está marcado por la recta 2-3 que corresponde a una temperatura efectiva de 26°C). En el RITE los márgenes al ser más estrechos con temperaturas operativas entre 23 y 25°C y humedades relativas entre el 40 y 60%, el porcentaje de PPI se acercará lógicamente más al valor del 5%.

No obstante, la temperatura operativa (t_o), que como sabemos, es prácticamente igual a la media de la temperatura seca del aire (t_{sa}) y de la temperatura radiante media (t_{rm}) de los cerramientos,

$$t_o = (t_{sa} + t_{rm}) / 2$$

Resultará que en instalaciones con suelo frío al ser la temperatura radiante media de los cerramientos (incluido el propio suelo) (p.e. 22°C) bastante menor que la temperatura radiante media en un sistema convencional de refrigeración por aire (p.e. 26°C), resultará que para una misma temperatura seca (t_{sa}) (p.e. 24°C) la temperatura operativa también será menor (23°C con suelo frío y 25°C con el sistema convencional) o dicho de otra forma para tener el mismo grado de satisfacción térmica es mejor el suelo frío, pero el inconveniente podría surgir por la humedad relativa (HR). Si nos fijamos en el diagrama del aire húmedo y con los datos del ejemplo anterior las condiciones de confort de 25°C y 50% de HR son equivalentes a 23°C con un 60% de HR, ya que ambos tienen el mismo valor de entalpía. Pero si estamos en un ambiente en el que la carga latente de refrigeración sea alta debida a la ocupación de personas o al aporte de aire exterior con HR altas, nos podemos salir de la zona de confort térmico. En resumen, se debe contar con la ayuda de los sistemas convencionales de refrigeración por aire.

2.4. - unidades climatizadoras o fan coils.

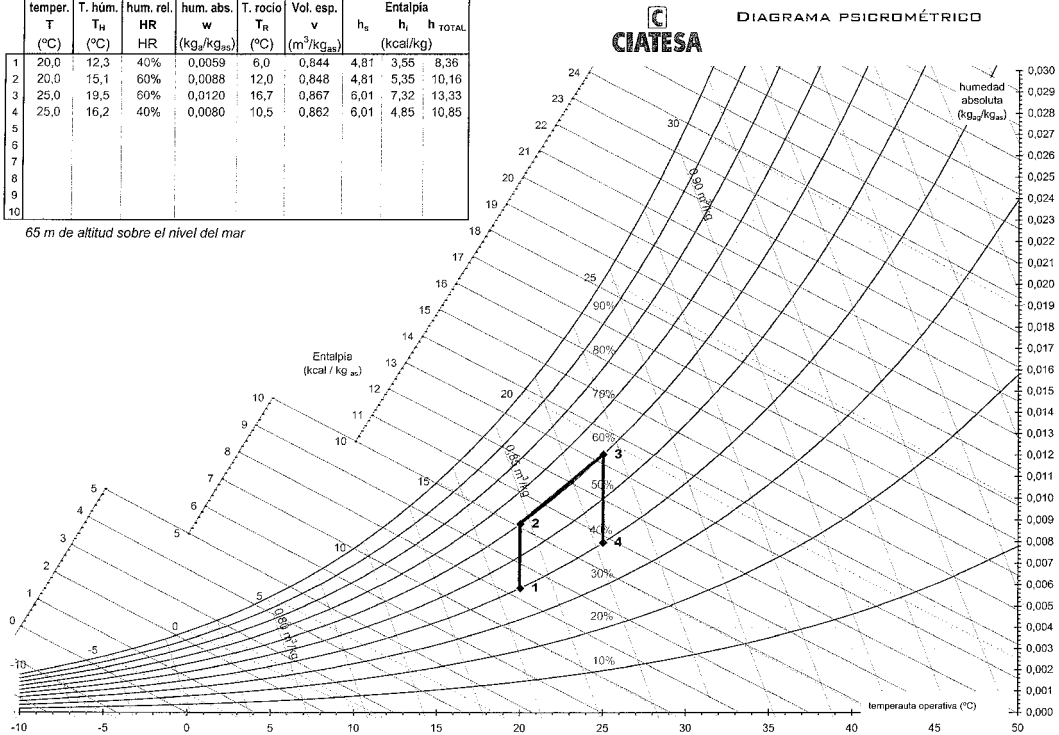
Como apoyo para satisfacer las necesidades de refrigeración en verano se puede contar con climatizadores o fancoils alimentados con agua fría que proporcionen una temperatura media de la batería por debajo del punto de rocío del aire ambiente de tal forma que se produzca simultáneamente deshumidificación (condensación de agua en la batería) y enfriamiento del aire como en los típicos sistemas de refrigeración.

De esta forma se complementa la falta de potencia sensible del suelo frío y se da también potencia latente de tal manera que se consiga estar en la zona de confort definida por el RITE (diagrama 2).

Diagrama 2

temper. T (°C)	T. hóm. T _h (°C)	hum. rel. HR	hum. abs. w (kg _a /kg _{as})	T. rocío T _R (°C)	Vol. esp. v (m ³ /kg _{as})	Entalpia (kcal/kg)		
						h _s	h _i	h _{TOTAL}
1	20,0	40%	0,0059	6,0	0,844	4,81	3,55	8,36
2	20,0	60%	0,0088	12,0	0,848	4,81	5,35	10,16
3	25,0	60%	0,0120	16,7	0,867	6,01	7,32	13,33
4	25,0	40%	0,0080	10,5	0,862	6,01	4,85	10,85

65 m de altitud sobre el nivel del mar



Para determinar la potencia de estas unidades de apoyo se podría hacer a partir de la potencia requerida de proyecto descontándole la proporcionada por el suelo frío que en términos medios puede ser entre el 25 y el 50% de la potencia requerida (así se ha hecho en esta vivienda), pero con el fin de conseguir más autonomía y seguridad será aconsejable, en algunos casos como por ejemplo en zonas húmedas, poner la potencia total requerida en las unidades de apoyo porque si dejamos sobredimensionada la potencia instalada, tendremos ventajas añadidas de poder utilizar las velocidades más bajas de los ventiladores y como consecuencia tener un menor nivel acústico, al mismo tiempo que se aumenta la proporción de potencia latente respecto de la total y así favorecer la deshumidificación del aire ambiente.

En el caso de utilizar fancoils, especialmente en locales de gran altura, la mejor opción será instalarlos del tipo vertical cerca del suelo obteniendo de esta manera una correcta recirculación de aire, aspirando de la masa de aire frío emitida por suelo, ganando este en potencia térmica, e impulsando hacia arriba con lo cual se climatiza fundamentalmente la zona de ocupación aproximadamente 2 metros de altura optimizándose el consumo de energía.

En nuestro caso, se ha optado por la utilización de una climatizadora tipo baja silueta KCB-50 para la planta baja de una potencia frigorífica nominal (agua 7/12°C) de 7.6 Kw y 15.6 Kw en la velocidad baja y alta respectivamente, y una KCB-40 para la planta alta con potencia nominal de 6.8 y 9.3 Kw, en la velocidad baja y alta respectivamente. La distribución de aire se hace con conductos de fibra de vidrio y rejillas de doble deflexión.

2.5. - Producción de agua caliente sanitaria (A.C.S.)

Para la producción y acumulación de ACS se cuenta con dos depósitos de acero inoxidable de doble camisa de 220 litros de capacidad cada uno de ellos y que

incorporan sendas resistencias eléctricas de 2 Kw para ser utilizadas periódicamente para dar un calentamiento a 70°C como prevención de la legionella y como elemento de seguridad en caso de que la bomba de calor quedara fuera de servicio.



El circuito primario de ambos depósitos está conectado al intercambiador-recuperador de gases calientes de la Bomba de Calor, existiendo también la posibilidad de conexión al circuito principal, de forma que en temporadas que no es necesaria la climatización (otoño y primavera) toda la potencia calorífica (recuperador más condensador) se utiliza para la producción de ACS dentro del periodo de tarificación nocturna.

Con este sistema está asegurada el abastecimiento de agua caliente a las dos bañeras de los cuartos de baños y a las dos duchas de los aseos, contando estos cuatro puntos de consumo con grifos termostáticos. Además se suministra agua caliente a la ducha junto a la piscina, al lavavajillas y opcionalmente a la lavadora, y por supuesto, al fregadero y a los lavabos.

2.6. - Calentamiento del agua de la piscina.

En el mismo circuito primario de recuperador de calor utilizado para la producción de ACS, se la colocado un intercambiador de placas para que opcionalmente se pueda calentar el agua de la piscina al aire libre, con el objetivo de alargar la temporada de utilización de la misma en aquellos días de final de la primavera y principios del otoño en los que aún sigue siendo necesaria la refrigeración. Recordar que con este tipo de máquina siempre que necesitemos refrigeración tenemos la posibilidad de utilizar **la potencia calorífica de forma gratuita** para la producción de ACS (en prioridad) y calentamiento del agua del vaso de la piscina.

2.7. Utilización de la tarifa nocturna.

No cabe duda que el sistema de climatización descrito se presta de forma idónea a la utilización de la tarifa nocturna con los importantes ahorros en la factura de suministro de electricidad que este tipo de contrato comporta.

Es obvio, que el resto de los aparatos de consumo eléctrico importantes de la vivienda (excepto los que hay que usar de día como la cocina de inducción, horno, etc...) están programados para funcionar en el “horario valle” (de 23 h a 7 h en invierno y de 0h a 8h en verano) donde la energía consumida, como ya se ha dicho anteriormente, cuesta menos de la mitad que en el “horario llano” del resto del día.

Veamos un ejemplo muy clarificador con datos comparativos de dos viviendas unifamiliares con los datos reales de facturación de la compañía Sevillana-Endesa.

Vivienda tipo “casa”, la que se está describiendo en este artículo de 290 m2.

Vivienda tipo “piso”, que es una tercera planta y última de un edificio de viviendas con una superficie de 110 m2, en la misma zona de la anterior (a 100 m de distancia). Este piso tiene 3 dormitorios, salón, cocina y dos aseos. Cuenta con dos bombas de calor aire-aire, una para el salón tipo split mural, y la otra para los tres dormitorios siendo del tipo baja silueta con distribución con conductos y rejillas. Para calefacción se utilizan también radiadores eléctricos de aceite que se usan fundamentalmente por la noche. Para ACS hay dos termos eléctricos. La cocina es de butano. En general este piso tiene un aislamiento térmico deficiente y por otro lado hay que decir que el grado de confort obtenido es inferior al de la “casa”. Tiene también contrato de tarifa nocturna.

Los consumos y costes de energía eléctrica , según los datos de las facturas correspondientes a un año, referidos a m2 de vivienda, son los reflejados en el gráfico 7 y en la tabla 1.

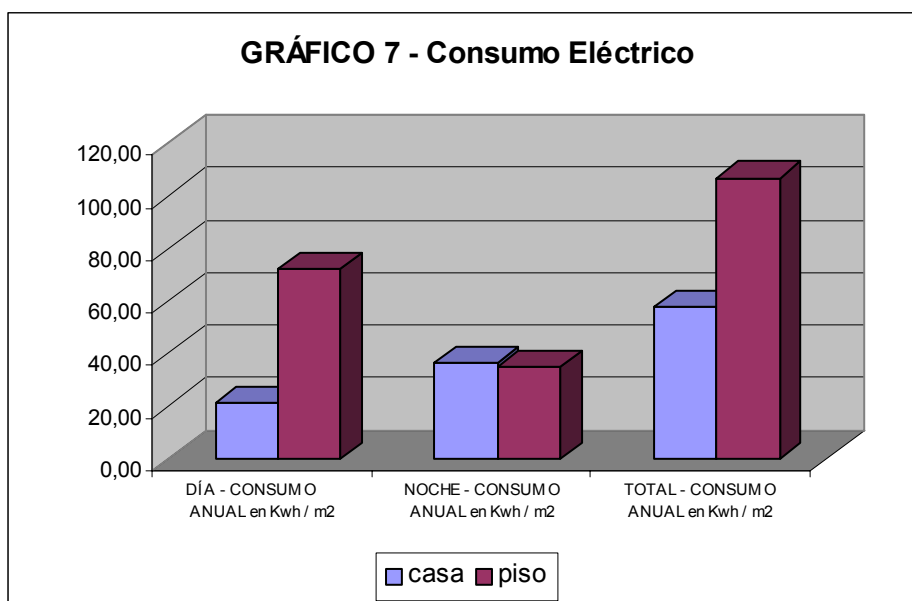


TABLA 1	casa	piso
DÍA - CONSUMO ANUAL en Kwh / m2	21,54	71,85
NOCHE - CONSUMO ANUAL en Kwh. / m2	36,40	34,95
TOTAL - CONSUMO ANUAL en kWh / m2	57,94	106,81
COSTE MEDIO del kWh en €	0,0734	0,0937
COSTE ANUAL en €/m2	4,25	10,01
COSTE MEDIO MENSUAL en €/m2	0,35	0,83

***Nota:** Costes facturados por la Compañía Eléctrica con IVA. incluido

Como podemos ver en la casa se consume menos, casi la mitad que en el piso (este además tiene el consumo de gas butano) , y se aprovecha mucho más la tarifa nocturna, siendo el coste medio del kWh (incluyendo todos los conceptos de la factura: cuota de potencia, consumos, alquileres e impuestos) un 28% más caro en el piso que en la vivienda. Como consecuencia el coste anual de la factura eléctrica referido a un m2 es más del doble en el piso que en la casa. Estas grandes diferencias son debidas al distinto nivel de aislamiento térmico, pero fundamentalmente al sistema de climatización en cada una de ellas.

3. - Resumen y resultados obtenidos.

A modo resumen se dan los datos de potencias (tabla 2) donde se puede observar cuales han sido los criterios de diseño en cuanto a la selección de las potencias de la bomba de calor y de los climatizadores (el de la planta baja tiene toma de aire exterior para ventilación y que sirve para las dos plantas por estar comunicadas ambas a través del salón.)

TABLA 2 TABLAS DE POTENCIAS en kW

	NECESIDADES TÉRMICAS		BOMBA DE CALOR		CLIMATIZADORES Pf	
	Pf	Pc	Pf	Pc	Velocidad baja	Velocidad alta
Planta Baja	15,8	9,1	Noche 17,6	18,3	7,6	15,6
Planta 1ª	12,8	8,9	Día 14,7		6,8	9,3
Total	28,6	18,0			14,4	24,9

Por otra parte, hay que resaltar que además de la sensación de bienestar que ya hemos comentado, cabe añadir la gran estabilidad térmica en el interior de la vivienda y fundamentalmente en invierno, gracias entre otras cosas a que el espesor de la capa de mortero y mármol es de 12 cm por encima de los tubos, lo que le confiere una gran inercia térmica y lógicamente también una gran capacidad de almacenamiento de calor, 560 wh/m2. A este calor acumulado habría que sumarle el del resto de cerramientos que han ido almacenando el calor que les ha radiado el suelo. A las 23h es cuando se tiene la menor temperatura que ronda entre los 20 y 21°C, y a las 7 h cuando deja de funcionar la bomba de calor, hay una temperatura de 21.5 y 22.5°C. Es decir la máxima variación diaria oscila en el 90% de los días entre 1 y 2 °C. Siendo sólo en el 10% de los

días más fríos (por debajo de 4°C) cuando hay que poner en marcha el sistema 3 o 4 horas al principio de la tarde para que la temperatura no baje de los 20°C.

Veamos ahora la otra gran ventaja del sistema de climatización de esta casa mediante un comparativo del coste de distintos de tipo de energía (ver Tabla 3 y Gráfico 8). Para los 17.877 kWh de necesidades energéticas anuales estimadas para calefacción, en función de los 869 Grados-día de la zona, se han consumido 3.820 kWh que representa un 23.5 % del consumo total eléctrico de la casa y a un precio muy bajo, el kWh térmico sale a 0.0128 € (2,13 Ptas.), siendo menos de la mitad del siguiente más barato que sería la Bomba de Calor tipo inverter con volumen de refrigerante variable donde el kWh térmico sale a 0.0302 €* (5,02 Ptas.)

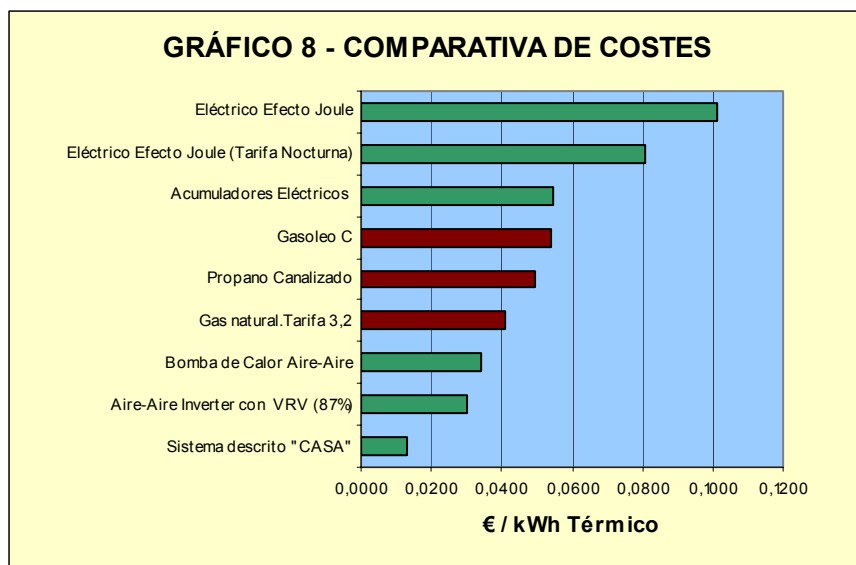
En la tabla 3 se indica la estimación del porcentaje de uso de la Tarifa nocturna en los sistemas que la utilizan para convertirla en energía calorífica. Estos resultados, y repitiendo los conceptos que ya se han visto anteriormente, se deben a la alta eficiencia energética de esta instalación que está muy por encima de otros sistemas.

*Se ha utilizado un COP = 3, para una potencia utilizada del 87%.

Fuente: Artículo “El efecto invernadero, los HFC’s y la bomba de calor” de D.Antonio Aroca publicado en el Instalador : Nuevas tecnologías sobre la bomba de calor.

TABLA 3. Necesidades anuales estimadas de Calefacción: 17.877 kWh

	kWh consumidos	coste anual €	€/ kWh térmico	RATIOS	% de uso de tarifa nocturna	
					LLANO	VALLE
Sistema descrito "CASA"	3.820	229	0,0128	1,00	10	90
Aire-Aire Inverter con VRV (87%)	5.959	541	0,0302	2,36	75	25
Bomba de Calor Aire-Aire	6.746	607	0,0339	2,65	75	25
Gas natural.Tarifa 3,2	17.877	728	0,0407	3,18		
Propano Canalizado	17.877	879	0,0492	3,84		
Gasoleo C	17.877	970	0,0543	4,24		
Acumuladores Eléctricos	17.877	971	0,0543	4,24	15	85
Eléctrico Efecto Joule (Tarifa Nocturna)	17.877	1.446	0,0809	6,32	65	35
Eléctrico Efecto Joule	17.877	1.811	0,1013	7,92	100	0



Por último, comentar la gran seguridad y disponibilidad de ACS a un coste muy bajo, especialmente en ciclo de refrigeración, y como complemento la disponibilidad de agua para riego que hace muy agradable los espacios exteriores de la casa.



4. -Conclusiones.

Confort y ahorro energía, que es lo mismo que respeto al medio ambiente, no son incompatibles. Para ello hay que buscar sistemas de climatización innovadores que aunque sean posiblemente más caros de instalar resultarán a la larga más baratos por la reducción del consumo de energía y por tanto más ecológicos.

En muchas viviendas unifamiliares de Europa, Bombas de Calor agua-agua con aprovechamiento de energía geotérmica, y utilización en el interior de suelo radiante se

están empleando desde hace mucho tiempo porque son instalaciones que proporcionan bienestar, son de alta eficiencia energética, y bajo nivel sonoro en su funcionamiento. La bomba de calor de esta instalación que se ha descrito al incorporar las novedades de recuperación de gases calientes, regulación del punto de consigna en función de la temperatura exterior y grupo hidráulico completo, permite resultados espectaculares en cuanto eficiencia energética y además simplifica en gran medida los elementos de control y regulación y el montaje mecánico en obra.