

Sistema integral para cubrir demandas térmicas de edificios pasivos

Andreu Moia Pol^{1*}

1: Departamento de Ingeniería Industrial y Construcción, Universitat de les Illes Balears.
 Carretera de Vallmdemossa km 7,5, Palma.
 e-mail: andreu.moia@uib.es

Resumen: Actualmente en España las nuevas viviendas no pueden consumir más de 30 kWh/m² de energía primaria no renovable, con un diseño pasivo, energías renovables y sistemas eficientes, donde la bomba de calor de baja potencia es el sistema más utilizado para cubrir el 60% de la demanda térmica anual (HVAC y Agua Caliente Sanitaria). En este artículo se propone un diseño con una bomba de calor Agua-Agua para cubrir las demandas de refrigeración con el frío residual que se genera para producir el ACS que supone un 16%, similar al consumo de los frigoríficos. Para el diseño casas pasivas y edificios de consumo de energía casi nulo, sería importante que los fabricantes aprovechen el calor residual de los frigoríficos para ACS. Se presenta un caso real con clima mediterráneo de una vivienda con una despensa refrigerada con el frío residual para el ACS, reduciendo más de un 14% el consumo energético anual. Este modelo puede servir para las futuras viviendas o nuevos equipos. Las bombas de calor combinadas con energía fotovoltaica podrán cubrir los consumos térmicos de una vivienda, incluyendo la refrigeración de alimentos.

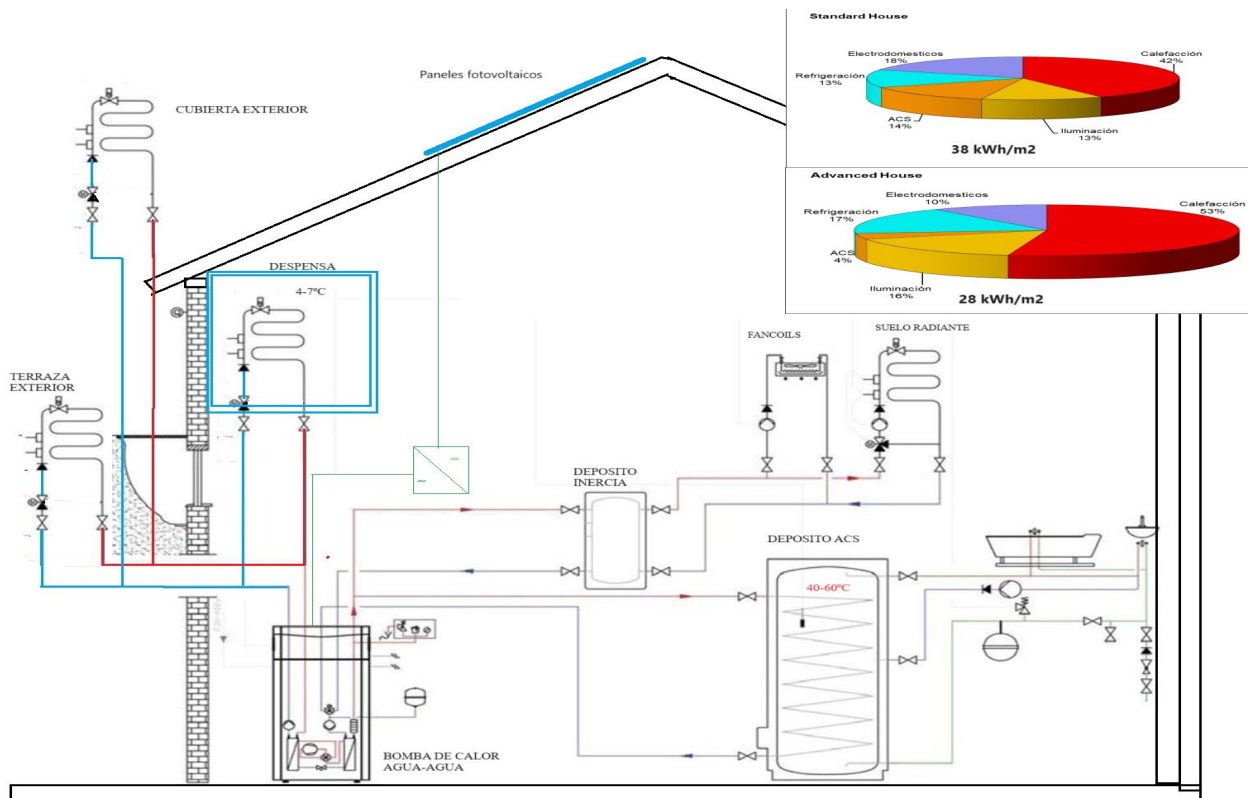


Figura 1. Vivienda pasiva con sistema integrado de Climatización, Refrigeración y ACS.

Palabras clave: Bomba de Calor, Refrigeración, Calor residual, ACS, Frigorífico

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente el reto mundial de llegar a escenarios de cero emisiones supondrá esfuerzos en todos los sectores y usos de la energía. Los futuros sistemas para llegar a edificios de energía cero deberán utilizar las últimas tecnologías con el sentido común de nuestros ancestros. Estos nuevos edificios necesitarán una gran proporción de energías renovables, pero sobre todo reducir la demanda energética con el proceso y la recuperación de energía más eficientes.

Se han desarrollado y probado bombas de calor solares, con colectores fotovoltaicos y energía Solar Térmica (ST), incluso con almacenamiento de hielo para mejorar la eficiencia del sistema, pero es necesario un esfuerzo adicional [1][4][5] de cara al futuro, especialmente en climas mediterráneos.

Las bombas de calor solares con almacenamiento de hielo suponen un nuevo concepto de uso, pero antes de tirar la energía térmica, es necesario reutilizarla. Algunos fabricantes han comenzado a utilizar este concepto para supermercados y tiendas, unificando los sistemas de climatización y frigoríficos, con el fin de ahorrar espacio y aumentar la eficiencia. Este concepto podría utilizarse para aplicaciones industriales y domésticas.

Históricamente, antes de la llegada del frigorífico en todas las casas había cerca de la cocina una despensa, un lugar fresco de la casa para guardar los alimentos durante todo el año. Este espacio ha ido desapareciendo de la construcción y lo hemos cambiado por neveras o frigoríficos grandes. En algunas casas tienen uno o dos frigoríficos grandes para almacenar alimentos refrigerados y congelados. El Código Técnico de la Edificación (CTE) no obliga a diseñar casas eficientes en todos los consumos, sólo obliga a mejorar el consumo en climatización y ACS. En la medida que queremos llegar a edificios de bajo consumo el frigorífico supone una gran cantidad de energía, es una bomba de calor cuyo calor no aprovechamos, el condensador suele estar en la parte trasera de la nevera y se disipa al aire, generalmente en la propia cocina, aumentando el calor en verano, aunque en invierno ayuda a reducir el consumo de calefacción. En la última década las bombas de calor han penetrado en el mercado para para calentar agua, con sistemas compactos, donde el frío del evaporador se tira al aire, al igual que la nevera, si se encuentra en una estancia interior se puede aprovechar, pero muchas veces, equipos medianos se disipa al aire exterior. Cuando diseñamos casas pasivas y edificios de consumo de energía casi nulo, los ingenieros y arquitectos consideran el mejor diseño pasivo con dispositivos HVAC de alta eficiencia y producción de agua caliente con una alta fracción renovable, pero se olvidan de reutilizar el calor de la nevera y los frigoríficos, con un sistema separado. Las bombas de calor son un sistema común, especialmente en los países mediterráneos, para la producción de agua caliente, para calefacción y refrigeración. Actualmente en grandes edificios (Hoteles, Hospitales, ..) se suelen diseñar sistemas con recuperación de calor que proporcionan ACS en modo de refrigeración, generalmente con un recuperador de gases calientes o bien con una condensación parcial o total.

El consumo total de energía para agua caliente puede representar entre el 12% y el 36% del consumo total de energía, que varía según el diseño global de los sistemas, el número de personas y las condiciones climáticas. El consumo medio anual de energía puede alcanzar los 200-600 kWh por persona.

La demanda de calefacción depende especialmente de la calidad de las paredes y de las condiciones climáticas (normalmente se utilizan los grados día para estimar el consumo anual de energía para calefacción), puede oscilar entre el 10% al 30%, según el CTE actual tiene que ser como máximo 15 kWh/m², que en el caso simulado supone un 7 kWh/m², con un consumo anual de 667 kWh.

La refrigeración para el sector residencial puede oscilar mucho, ya que para nativos no es un sistema imprescindible y su uso es el que tiene una horquilla más amplia, puede ir del 3% al 30%, aunque empezó a instalarse en edificios de alto standing ahora prácticamente es omnipresente en la mayoría de nuevas construcciones, además el cambio climático y el aumento de olas de calor ha incrementado sus ventas y su uso en nuestro país. Según el CTE actual tiene que ser como máximo 15 kWh/m², que en el caso simulado supone un 4,5 kWh/m², con un consumo anual máximo de 445 kWh.

El consumo del frigorífico no está regulado ni computado por el CTE, ya que se considera un electrodoméstico que no forma parte de la construcción, su eficiencia viene dada por la normativa de electrodomésticos, en el mercado se pueden encontrar según la etiqueta, las cuales la UE ha endurecido las normas los últimos años, muchas neveras pasaron de clase A a clase G con el cambio normativo. Su consumo depende mucho del diseño inicial (uno o dos compresores), calidades de aislamiento y estanqueidad, la temperatura de consigna, el mantenimiento, las aperturas y cargas que se hagan, es un consumo muy variable en función de los usuarios. También la ubicación del frigorífico puede condicionar mucho el consumo, si encuentra en una dependencia orientada al sur y recibe radiación solar puede suponer un gran consumo anual, en la tabla 1 se muestran consumos típicos en función de la etiqueta energética y el año de fabricación.

Tabla 1. Demanda anual de un frigorífico (fuente; varios fabricantes y EU label [3]).

Clase	2021 kWh/año	2010 kWh/año
A	98	150
B	130	175
C	162	284
D	210	322
E	300	374
F	404	507
G >	646	-

2. EDIFICIO ESTUDIADO.

El caso de estudio se encuentra en Baleares, se trata de una vivienda unifamiliar de nueva construcción que se terminó en 2023, cumpliendo con el CTE. El edificio dispone de una instalación fotovoltaica de 8 kWp con 10 kWh de baterías para autoconsumo, además de otros consumos exteriores que no se han incluido en el estudio (pozo, riego, punto de carga vehículo eléctrico,). El diseño del sistema se ha hecho con una bomba de calor geotérmica de 9,8 kW en calor y 9,2 kW en refrigeración, aunque en el diseño del sistema se ha optado por un sistema de disipación horizontal de calor residual integrado en la misma vivienda. Se han aprovechado terrazas exteriores y la cubierta del edificio para el circuito geotérmico. El interior está compuesto por 2 sistemas de climatización, suelo radiante y fancoils, que se pueden utilizar indistintamente para refrescar y para calentar, aunque prioritariamente se utilizan los fancoils para refrigerar y el suelo radiante para calefactar. Las temperaturas de uso son 7/12°C para los fancoils y 30/35°C para el suelo radiante.

El sistema se va a realizar en 2 fases, la actual con el sistema exterior con agua, con temperaturas de evaporación en invierno de mínima 2°C y máxima de 25°C y en otra futura fase se va a poner glicol para trabajar a temperaturas inferiores, ya que la máquina en invierno puede trabajar hasta -10°C.

Según el fabricante la temperatura máxima de funcionamiento en verano es de 30°C y la mínima de 0°C. El caudal de funcionamiento del circuito exterior es de 2240 l/h, el circuito interior de 1720 l/h. La superficie radiante interior son unos 150 m², la superficie total del circuito exterior es de 224 m². El sistema en la fase 1 en invierno de día actúa como un captador solar pasivo, ya que las cubiertas reciben la radiación solar y puede evaporar a más de 2°C. En verano durante el día el condensador supera los 30°C, por lo que se utiliza por la noche, debido a la radiación del cielo, la cubierta está por debajo de los 25°C y funciona perfectamente. En los días de baja radiación de invierno y durante el periodo diurno de verano, la bomba de calor dispone de un sistema alternativo, un intercambiador agua-agua con un aljibe de agua de sondeo y pluviales de acumulación de 30 m³ que esta a unos 18°C todo el año, por lo que equivaldría a un pozo abierto, ya que dicha agua se renueva semanalmente para el riego de una explotación agrícola.

Tabla 2. Características de la bomba de calor del caso estudiado.

Pozo abierto	Modelo VMW 11 SI	
Eficiencia a 55°C	A+++	
	Calorífica	frigorífica
Potencia Térmica	9,9 kW	10,3 kW
Potencia Eléctrica a 18/35°C	2,2 kW	2,2 kW
Potencia Eléctrica a 7/45 °C	3,2 kW	3,2 kW
Potencia Eléctrica a 7/55 °C	3,9 kW	3,9 kW
Caudal	1730 l/h	2160 l/h

Este sistema ya lleva funcionando un año en la fase 1, en la que se ha satisfecho perfectamente las necesidades de térmicas de la casa. Se ha construido una despensa en el sótano de 2 m², con un sistema radiante de 8 m² de superficie con tubería multicapa, y poliestireno de 30 mm un aislamiento adicional de 70 mm de lana de roca que permitiendo mejorar la eficiencia y reducir a cero el consumo de energía para refrigeración, instalando el frigorífico en dicha despensa. La parte de congelación es necesario mantener el compresor correspondiente al congelador, de manera que el equipo de congelación funciona con temperaturas exteriores muy bajas todo el año (unos 4-5°C).

Para la fase 2, en que se utilizará glicol, se espera reducir una parte del consumo de refrigeración y congelación y el sistema se podrá utilizar días más extremos, tanto de día como de noche sin necesidad del sistema alternativo.

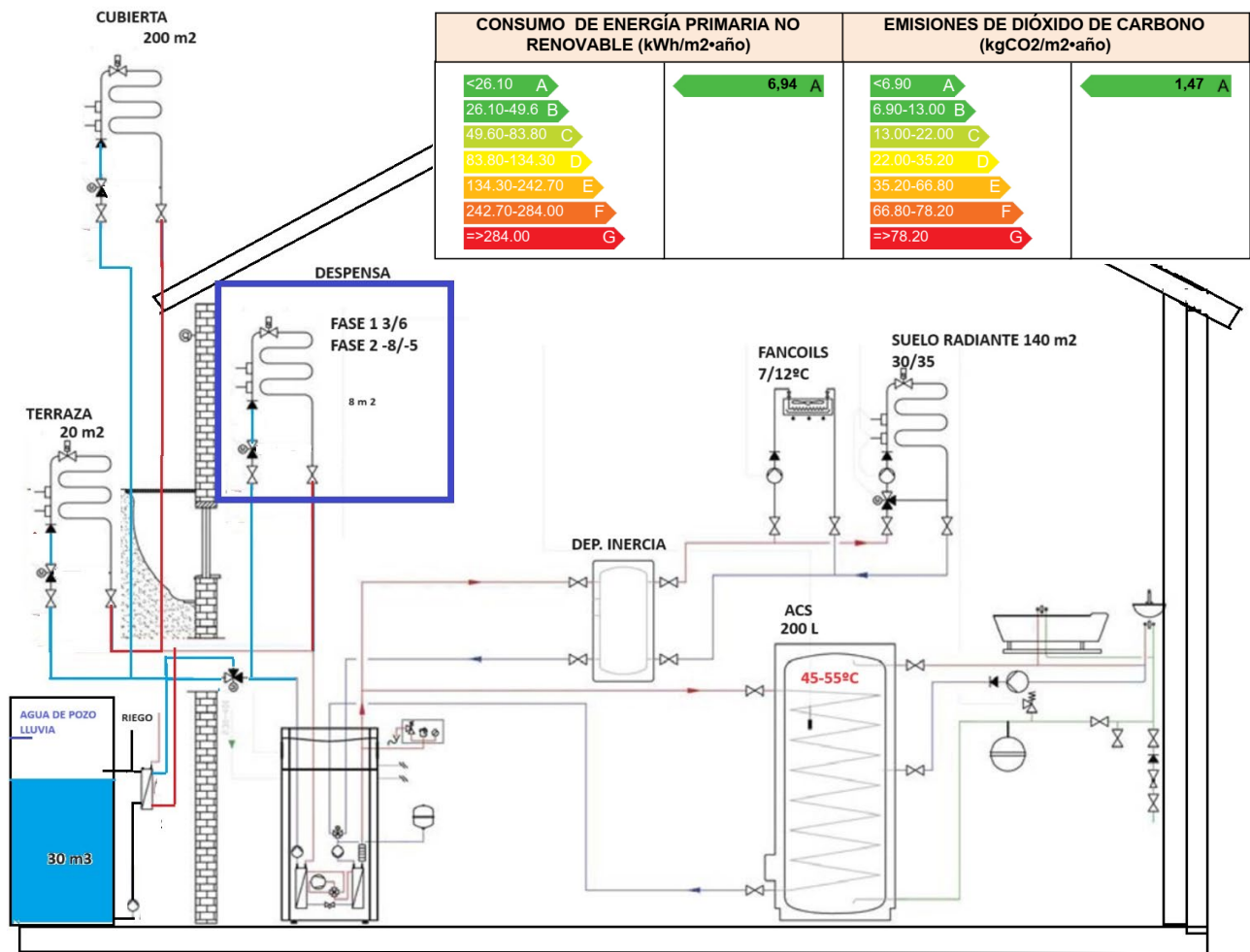


Figura 2. Esquema del sistema integrado de Climatización, Refrigeración y ACS.

En la tabla 3, se muestran los consumos del caso de estudio, comparando los consumos por meses de la vivienda aislada de 180 m² de 4 personas con un frigorífico americano, clase E, No Frost, de 634 l, con 2 compresores y dispensador de hielo y agua. El consumo del frigorífico en nuestro caso está formado por 2 compresores, uno para el congelador y otro para la parte de conservación. El frigorífico tiene capacidad neta de 409 l y el congelador capacidad neta de 225 l. El 48% del consumo corresponde al congelador y el 52% al frigorífico, se puede ver que en el caso estudiado, el consumo eléctrico en ningún mes supera al consumo de ACS que es casi 3 veces superior, que equivale prácticamente al COP de los equipos convencionales.

Tabla 3. Demanda térmica y consumos eléctricos del edificio estudiado en kWh 2023.

Mes	Demanda Calor	Demanda Frío	ACS	Consumo eléctrico frigorífico
ENE	152	0	152	31
FEB	126	0	134	28
MAR	115	0	141	31
ABR	0	0	129	31
MAY	0	0	130	34
JUN	0	90	122	66
JUL	0	120	123	87
AGO	0	145	126	91

SEPT	0	90	126	74
OCT	0	0	134	50
NOV	123	0	136	31
DIC	151	0	152	31
Total	667	445	1605	585

En nuestro caso se ha reducido el consumo energético en más de un 25% respecto al diseño con un sistema de aerotermia convencional (según CTE con un rendimiento estacional EER de 2,5), si disponemos de bombas de calor de alta eficiencia el ahorro podría ser del 14%. En la tabla siguiente se muestran los resultados comparando con un equipo convencional de aerotermia para calefacción y refrigeración y un equipo compacto con bomba de calor para el ACS, con el propuesto cuando se realice la fase 2. Según la estimación obtenida a partir de los consumos reales, se podría reducir un 75% el consumo del frigorífico, y un 33% el consumo de ACS. La parte de calor y de frío si se funciona sin el sistema de riego también se reduce casi un 50%.

Tabla 4. Demanda eléctrica en kWh del edificio estudiado respecto a uno convencional en KWh

Usos de la vivienda	Calor	Frio	ACS	Refrigeracion	Luces	Cocina	Otros Equipos
Standard	267	178	802	585	408	730	793
Porcentaje	7%	5%	21%	16%	11%	19%	21%
Estudiada	128	95	535	144	408	730	793
Porcentaje	5%	3%	19%	5%	14%	26%	28%
Reducción	52%	47%	33%	75%			

3. OTROS SISTEMAS.

Los fabricantes de electrodomésticos podrían disponer de equipos integrados y compactos de producción de ACS y Refrigeración, que se podría aplicar a pisos y viviendas pequeñas. En otros casos existen otras soluciones viables, en caso en que no se disponga de riego se puede hacer el esquema propuesto en los 90, aprovechando las aguas grises del edificio y el aire de ventilación. Este sistema llegó a ser desarrollado por algunos fabricantes disponían de estos equipos hace unos 20 años.

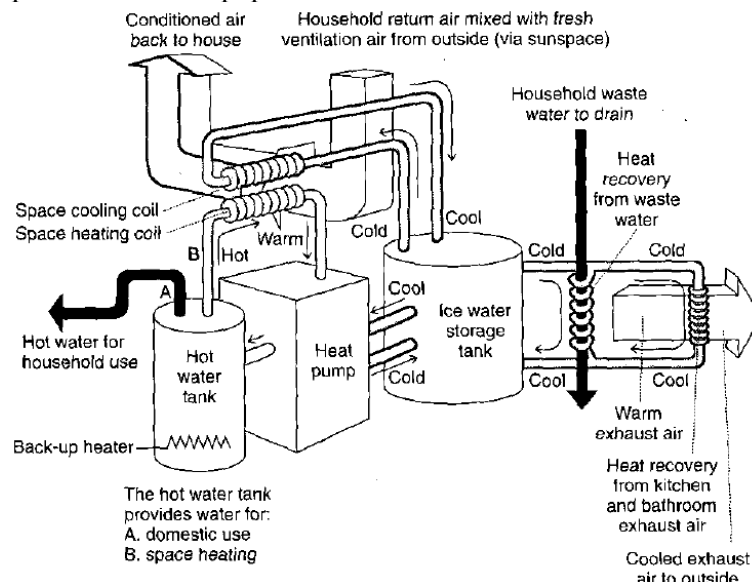


Figura 3. Sistema Mecánico Integrado de una casa avanzada de los 90. Fuente CADDET [2]

El agua se está convirtiendo en un tema preocupante en la mitad del mundo (especialmente en los países del sur), y aumenta el calentamiento global cuando la consumimos en exceso, todo el proceso de tratamiento del agua consume energía (potabilidad, bombeo, ACS y depuración). Reutilizar las aguas grises que se suelen

encontrar en algunos municipios e instalaciones españolas (Canarias, Baleares, ...) [6]. Esta agua tiene un contenido orgánico muy bajo y todavía una gran entalpía, lo que podría usarse para aumentar la eficiencia de la bomba de calor solar y reutilizarse para las cisternas de los WC y otros usos que no necesitan agua potable pura (riego, limpieza exterior) [4]. Podemos reducir un 30% el consumo de agua y reducir un 50% el consumo de energía para agua caliente, además de combinar el sistema con paneles solares para poder ser utilizado en cualquier latitud, según la figura 4, pero requiere una mayor inversión que el sistema propuesto en la figura 2, ya que se debe disponer de un sistema de filtración de aguas grises y de paneles solares térmicos.

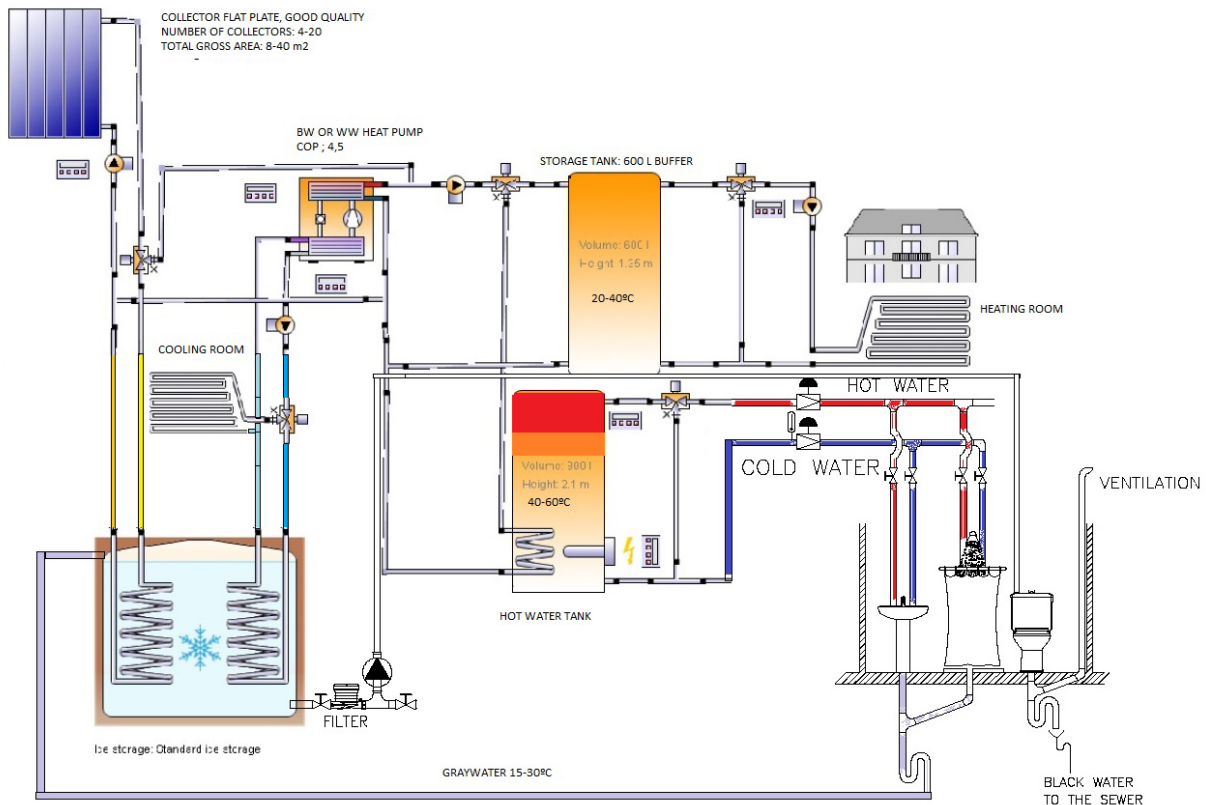


Figura 4. Sistema Térmico Integrado de una casa con aguas grises. [4]

4. CONCLUSIONES

Para el diseño casas pasivas y edificios de consumo de energía casi nulo, sería importante que los fabricantes aprovechen la mayor parte del calor residual de los frigoríficos para la producción de ACS, ya que puede suponer un ahorro muy importante respecto a equipos convencionales. En nuestro caso real con clima mediterráneo de una vivienda con una despensa refrigerada con el frío residual para el ACS, se ha conseguido reducir un 14% el consumo total y en la fase 2 se espera reducir un 25% el consumo energético anual respecto a una vivienda convencional. Este modelo puede servir para las futuras viviendas o nuevos equipos. Las bombas de calor combinadas con energía fotovoltaica podrán cubrir los consumos térmicos de una vivienda, incluyendo la refrigeración de alimentos.

REFERENCIAS

- [1] Andreu Moià Pol, Artem Morzhukhin, Rashid G. Nazmitdinov. Analysis of a heat pump market in Russia. Prospects of application of combined system for small buildings. GL2018 CONFERENCE. 13th IIR-GUSTAV LORENTZEN CONFERENCE ON NATURAL REFRIGERANTS: Valencia
- [2] CADDET (Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies Energy) Efficiency Retrofitting of Residential Buildings (AR 18). March 1996
- [3] Regulation (EU) 2019/2019 of 1 October 2019 laying down ecodesign requirements for refrigerating appliances pursuant to Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council and repealing

Commission Regulation (EC) 643/2009 (OJ L 315, 5.12.2009, pp. 187-208).

[4] Andreu Moia Pol, Rashid G. Nazmitdinov, Artem Morzhukhin Simulation of combined heating heat pump system with grey water and solar energy. Eurosun 2018. Rapperswil, Switzerland.

[5] D.Carbonell, D.Philippen, M.Granzotto, M.Y.Haller. Simulation of a solar-ice system for heating applications. System validation with one-year of monitoring data. Energy and Buildings. Volume 127, Pages 846-858, 1 September 2016.

[6] Gual, M.; Moia, A. and March, J.G.. Monitoring of an indoor pilot plant for osmosis rejection and greywater reuse to flush toilets in a hotel. Desalination 219 (2008) 81–88