



Escuela
Universitaria
Ingeniería
Técnica
Industrial
ZARAGOZA

Estado de la tecnología de sistemas de refrigeración por compresión y análisis para un local en Teruel.

Documento 1. Memoria

Autor:
Fernando Monserrat Hernández

Director de Proyecto:
Belén Zalba Nonay

Convocatoria: Septiembre 2010.
25 de Julio de 2010

INDICE

i INTRODUCCIÓN	5
i.1. Motivación.....	5
i.2. Objetivos del proyecto.....	5
i.3. Estructura del proyecto.....	6
 CAPITULO 1. Estado de la Tecnología. Eficiencia en ciclos de compresión de vapor.....	 8
1.1. Fundamentos básicos sobre el funcionamiento de los equipos de bomba de calor.....	8
1.2. Tipología de las Bombas de Calor.	9
1.2.1. Tipología de bombas de calor según el tipo de foco externo.....	9
1.2.2. Resumen de las Ventajas e Inconvenientes de utilizar aire o agua como foco externo	13
1.2.3. Tipología de la bomba de calor según su construcción.....	14
1.2.4. Tipología de la bomba de calor según su funcionamiento.	14
1.2.5. Tipología de los compresores en la bomba de calor.	14
1.3. Situación de la Bomba de Calor.....	17
1.3.1. En el Mundo.....	17
1.3.2. En Europa	18
1.3.3. En España.....	19
1.4. Eficiencia en ciclos de compresión de vapor.....	20
1.5. Análisis de prestaciones en el mercado de los equipos de bomba de calor y enfriadoras.....	21
1.5.1. Foco Externo Aire.....	22
1.5.2. Foco Externo Agua	23
1.6. Influencia de las condiciones climatológicas ambientales en la eficiencia de las bombas de calor.	25
1.6.1. Foco Externo Aire.....	25
1.6.2. Foco Externo Agua	32
1.7. Conclusiones.....	39

1.7.1. Conclusiones del estudio acerca de las prestaciones de los equipos de bombas de calor y enfriadoras en el mercado. (1.5).....	39
1.7.2. Conclusiones del estudio acerca de la influencia de las condiciones climatológicas ambientales en la eficiencia de la bomba de calor y equipos enfriadores. (1.6)	41
CAPITULO 2. Rendimiento estacional en equipos de bomba de calor	42
2.1. Introducción	42
2.2. Normas.....	43
2.2.1. SCOP de referencia (COP estacional)	43
2.2.2. SEER de referencia (EER estacional).....	48
2.2.3. Otros Perfiles calculados por la Norma EN-14825.....	50
2.3. Ejemplo Calculo SPF	54
2.4. Aplicación de la directiva 2009/28/CE – PANER 2010-2020.	55
2.5. Conclusiones.....	56
CAPITULO 3. Comparativa de la eficiencia de un sistema de bomba de calor frente a otro de enfriadora y caldera.	57
3.1. Objetivos.....	57
3.2. Etapas del estudio	57
3.3. Estudio de la eficiencia de la instalación de un sistema de bomba de calor frente a otro de enfriadora y caldera en un local de Teruel.	58
3.3.1. Datos del local en Teruel.....	58
3.3.2. Datos climáticos	60
3.3.3. Estimación de la demanda térmica horaria	62
3.3.4. Selección de equipos	67
3.3.5. Cálculos de COP estacional	73
3.3.6. Cálculo del COP/EER medio diario de la Bomba de calor	78
3.3.7. Estudio económico	84
3.4. Conclusiones del estudio.	87

CAPITULO 4. Conclusiones	90
4.1. Conclusiones del estudio acerca de las prestaciones de los equipos de bombas de calor y enfriadoras en el mercado. (1.5).....	90
4.2. Conclusiones del estudio acerca de la influencia de las condiciones climatológicas ambientales en la eficiencia de la bomba de calor y equipos enfriadores. (1.6)	90
4.3. Conclusiones del rendimiento estacional y la directiva 2009/28/CE.....	91
4.4. Conclusiones del estudio realizado sobre el edificio en Teruel..	92
BIBLIOGRAFÍA.....	94

i INTRODUCCIÓN

i.1. Motivación

Los objetivos del PANER 2010-2020 (Plan de Acción Nacional de Energías Renovables), para 2020, es aumentar en un 90% los datos registrados para 2010 referentes a cuotas de energía procedente de recursos renovables para bomba de calor aerotérmica. En otras magnitudes, se estaría hablando de que habría que aumentar para 2020 al menos 4,9 ktep, lo que es lo mismo, 57 000 MWh.

Dado que la Directiva Europea 2009/28/CE establece que las bombas de calor que tengan un SPF (Rendimiento Estacional, *Seasonal performance factor*) por encima de un determinado valor, consideran un porcentaje de la energía que aportan proveniente de fuente renovable.

La motivación personal para la realización de este proyecto es seguir formándome en el campo de la climatización y poder aportar una documentación amplia del estado de las bombas de calor como tecnología, tanto a nivel nacional como internacional, también de la eficiencia en ciclos de compresión de vapor, y documentación acerca del SPF (Rendimiento Estacional, *Seasonal performance factor*), con la aplicación de éste aporte a un ejemplo de un local en Teruel donde se estudia la instalación de un sistema de bomba de calor aire – aire frente a un sistema enfriador aire – agua con caldera. Y como dichos sistemas están ayudando a cumplir los objetivos del PANER 2010-2020.

i.2. Objetivos del proyecto

El objetivo de este proyecto es hacer un estudio actual del estado de la bomba de calor y enfriadoras que utilizan el aire de la calle como foco externo, además de investigar sobre la documentación proporcionada por la Norma Europea EN 14825 acerca del SPF (Rendimiento Estacional del equipo) y proponer otros métodos de cálculo paralelos, aplicando todo lo estudiado en un ejemplo, en el cual se estudiará la instalación de dos sistemas de climatización. El primero, una bomba de calor y el segundo una unidad enfriadora para verano complementado con una caldera de condensación para suplir la demanda de invierno. En este estudio ejemplo se compararan ambos sistemas, entre otras cosas sus rendimientos, tanto estacionales como los obtenidos por medio de un estudio de la demanda horaria y del estudio de los datos climatológicos a lo largo de un día representativo de verano y otro representativo de invierno. Y de esta forma se podrá concretar si se está ayudando al PANER 2010-2020 con la instalación de este tipo de sistemas.

i.3. Estructura del proyecto

La presente memoria se estructura en los apartados que se describen a continuación:

Capítulo 1. Estado de la tecnología. Eficiencia en ciclos de compresión de vapor.

En el presente capítulo se presentan varios apartados; en el primero se explicarán algunos fundamentos básicos sobre el funcionamiento de la bomba de calor; en el segundo se recoge información acerca del uso del sistema de bomba de calor o enfriadora tanto a nivel nacional como internacional; también se muestra el actual estado de tecnología de estos sistemas. El tercer apartado, de carácter introductorio al tercer apartado, desarrollará los conceptos necesarios sobre eficiencia en ciclos de compresión de vapor. En el cuarto y último apartado se presenta un estudio actual referente a la eficiencia de las bombas de calor y enfriadoras, y en qué medida les afectan los datos climatológicos externos.

Capítulo 2. Rendimiento Estacional en equipos de bomba de calor. SPF (Seasonal Performance Factor).

En este segundo capítulo se presentará y se encuadrará la información referente al SPF (*Coeficiente de prestación Estacional, Seasonal performance factor*) encontrada en las normas europeas, y de la utilidad de este concepto en el marco energético.

Capítulo 3. Comparativa de la eficiencia de un sistema de bomba de calor frente a otro de enfriadora y caldera de condensación.

En este capítulo se desarrollará un ejemplo como aplicación a los anteriores capítulos. En dicho ejemplo se presentan varios apartados:

En el primer apartado se analizará la demanda térmica horaria para un día representativo de verano y otro de invierno en un local de Teruel y se estudiarán los datos climatológicos correspondientes a dichos días. Esta aplicación se realizará sobre el mismo local para un uso de 24 horas y para un uso análogo al de unas oficinas.

En el segundo apartado, dados los datos obtenidos del apartado anterior, se procederá a la selección de equipos para satisfacer dicha demanda térmica en el local para diferentes usos. Se realizará dicha selección de los equipos en base a dos opciones: La primera constará de una bomba de calor, que utiliza aire como foco externo y como foco interno, para satisfacer la demanda térmica de verano y de invierno; la segunda constará de una unidad enfriadora, que utiliza aire como foco externo y agua como foco interno, para satisfacer la demanda térmica de verano, estará complementada con una caldera de condensación para satisfacer la demanda térmica de invierno.

Capítulo 4. Conclusiones.

En este último apartado se recogen las conclusiones a las que se han llegado con el desarrollo de dicho proyecto, y los trabajos futuros que de él pueden derivar.

CAPITULO 1

Estado de la Tecnología. Eficiencia en ciclos de compresión de vapor.

1.1. Fundamentos básicos sobre el funcionamiento de los equipos de bomba de calor.

Una bomba de calor es una máquina que transfiere el calor desde un foco frío (T_f) a otro caliente (T_c) utilizando una cantidad de trabajo (W), de acuerdo con el principio de Carnot de 1824.

Los principales componentes de una bomba de calor son:

El compresor: Máquina que comprime y desplaza al condensador el gas refrigerante aumentando su presión y temperatura. Funciona gracias al consumo de energía eléctrica.

El condensador: Es un elemento intercambiador térmico donde el refrigerante condensa a una temperatura mayor que la del foco caliente cediéndole calor a éste.

La válvula de expansión: La misión de este dispositivo es disminuir la presión del refrigerante, antes del paso por el evaporador.

El evaporador: Es un elemento intercambiador térmico donde el refrigerante se evapora a una temperatura menor que la del foco frío, extrayendo calor del mismo.

En la figura 1.1 se pueden observar los componentes una vez insertados en el ciclo; este ciclo llamado *ciclo de compresión de vapor* es la versión más simple que se puede dibujar del mismo, de forma que engloba sus cuatro elementos, antes descritos, más importantes.

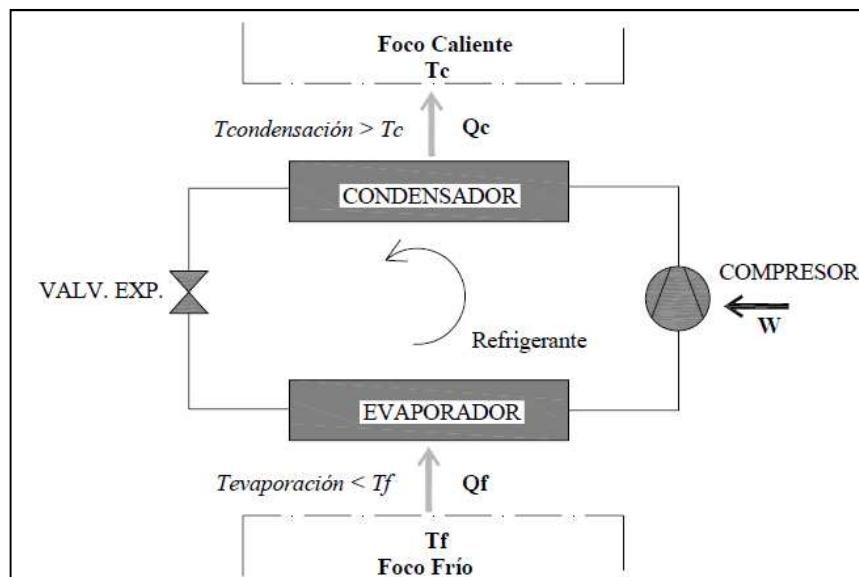


Figura 1.1 Ciclo de compresión de vapor y sus correspondientes componentes

El funcionamiento del ciclo de compresión de vapor mostrado en la figura 1.1 es un claro ejemplo del funcionamiento de un equipo de bomba de calor.

Un esquema característico de una bomba de calor, cuya principal característica es que se puede utilizar tanto para suplir la demanda térmica en verano como en invierno, sería tal como muestra la figura 1.2. Para que dicha demanda pueda suplirse se necesitará un elemento que se encargue de cambiar el sentido del refrigerante, en este caso para revertir el sentido se utiliza una válvula de cuatro vías y dos posiciones. Con este sistema podremos suplir las demandas térmicas de invierno y verano cambiando el sentido del flujo de refrigerante.

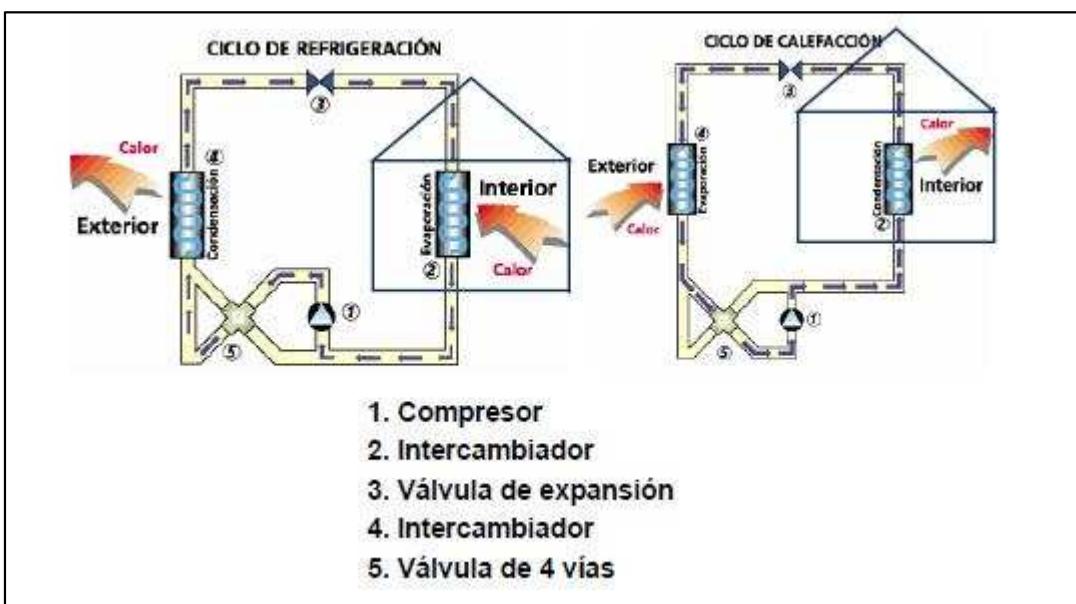


Figura 1.2. Ciclo de compresión. Bomba de Calor

1.2. Tipología de las Bombas de Calor.

1.2.1. Tipología de bombas de calor según el tipo de foco externo

Las bombas de calor se clasifican en función de sus focos caliente y frío. Así pues, estas podrán ser Agua-Aire, Agua-Agua, Aire-Aire y Aire-Agua.

Tomando como primer término el foco externo y como segundo el foco en el interior; así pues una bomba de calor Agua-Aire, el agua hace referencia al foco externo, y el aire al foco interior.

1.2.1.1. Foco externo: aire

Una tipología que cada vez es más usada en todo el mundo es la de utilizar el aire de extracción del interior, mediante extractores y recuperadores de calor, para atenuar los picos de temperatura con los que llega el aire del exterior.

Las ventajas e inconvenientes que conlleva el elegir un sistema con **aire** como foco externo frente a un sistema con agua como foco externo, son las enunciadas en la figura 1.3:

FOCO EXTERNO AIRE	
Ventajas	Inconvenientes
Disponibilidad de foco externo inagotable.	Alta variabilidad en la temperatura al año (poco estable)
Bajos Costes	Cuando la superficie del evaporador tiene una temperatura inferior a 0°C e inferior a la del rocio del aire, se forma escarcha (disminuye COP)
Doble función Invierno/Verano	Pueden producirse fallos en el compresor por golpes de liquido
Instalacion muy sencilla	No es viable en aquellas regiones donde el clima es muy adverso (Temperaturas extremas)
Ahorro de energia	No suelen cubrir a lo largo del año toda la demanda energetica, asi que es necesario en la mayoria de los casos combinar con otro sistema para cubrir esa demanda.
Menor impacto ambiental dependiendo de cómo se genere la energia electrica y al COP.	En las Unidades domesticas existen riesgos de que el refrigerante se expanda por la habitación, en caso de fuga.
Dimensiones reducidas para uso domestico	
No requiere gran mantenimiento	
No hacen mucho ruido	

Figura 1.3. Ventajas e inconvenientes del aire como foco externo

1.2.1.2. Foco externo: agua

En este apartado se detallará las tipologías y el funcionamiento de un sistema de bomba de calor, teniendo en cuenta que el foco externo es agua. En el segundo apartado se explicarán cuales son las principales ventajas e inconvenientes de tener una instalación de bomba de calor con agua como foco exterior.

1.2.1.2.1. Aguas naturales

Se pueden utilizar como focos fríos las aguas de ríos, lagos, aguas subterráneas o del mar. La eficiencia obtenida con este foco es muy elevada y no presenta problemas de desescarche. La temperatura del agua del mar a cierta profundidad (25-50 m) es constante (5/8°C) e independiente de cambios climáticos en el exterior, además la congelación no tiene lugar hasta -1 ó -2°C. Cuando se utiliza agua del mar hay que prever problemas de corrosión y de proliferación de algas. En la figura 1.4 se muestra la instalación de una bomba de calor usando como foco externo el agua de un lago.

La gran longitud del tubo del intercambiador nos garantiza una estabilidad en las temperaturas a la salida de éste.

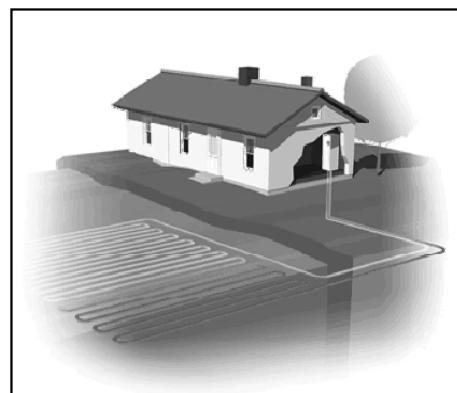


Figura 1.4. Instalación con agua como foco externo. Circuito cerrado

Existen otros tipos de intercambiador exterior como el visto en espirales (se utiliza mucho en EEUU), en la figura 1.5; el diseño de éste estará influenciado por las propiedades térmicas del foco externo y por la cantidad de espacio (sea lago, río, etc) que se disponga. Con éste diseño se intentará cubrir la mayor área de intercambio posible.

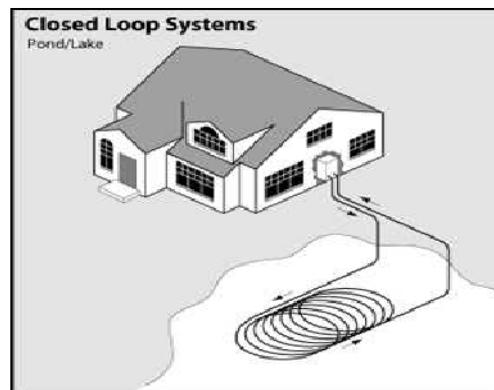


Figura 1.5. Agua como foco externo.
Intercambiador exterior en espirales.

1.2.1.2.2. Pozos y agua en el subsuelo (Geotermia)

Este sistema une a la bomba de calor con el subsuelo y permite la extracción de calor o la introducción de frío a la tierra. Estos sistemas se pueden clasificar generalmente como sistemas abiertos y cerrados.

Los *sistemas abiertos* utilizan agua subterránea como portador de calor y se lleva directamente a la bomba de calor; el recurso técnico más importante de estos sistemas son los pozos de agua subterráneos; se perforan

para extraer o introducir agua de/hacia capas productoras de agua en el subsuelo. En la figura 1.6 se muestra un ejemplo del sistema abierto.

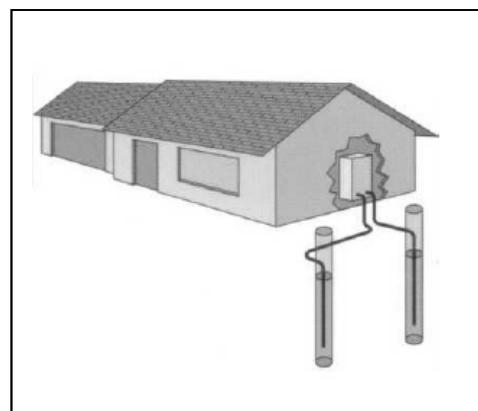


Figura 1.6. Sistema abierto de intercambio mediante el agua de pozos.

Los *sistemas cerrados* son intercambiadores de calor que son ubicados en el subsuelo ya sea de forma vertical horizontal u oblicua, y un medio portador de calor circula dentro de los intercambiadores de calor, transportando el calor de la tierra a la bomba y viceversa. En la figura 1.7 se puede observar un ejemplo gráfico del sistema.

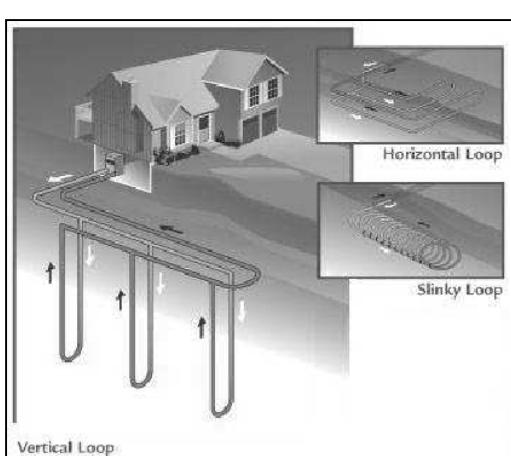


Figura 1.7. Sistema cerrado de intercambio mediante el agua que pasa por el freático.

Para elegir el sistema más apropiado para una instalación específica, hay que considerar varios factores: las características geológicas e hidrogeológicas del subsuelo, área y utilización en la superficie, etc.

Los últimos años se ha conocido este tipo de tecnología como Geotermia; hoy en día, en 2010, se encuentra en pleno auge ya que se obtienen resultados muy altos de rendimiento para una instalación de bomba de calor. “La Geotermia” cada día está más

demandada, no solo por los altos coeficientes de prestación que dan y a su estabilidad térmica como foco externo, sino además porque no requiere apenas mantenimiento. Su entrada en el mercado doméstico, principalmente en el sector unifamiliar, se ha visto influenciada por una campaña propagandística desmesurada los últimos años y que sigue en la actualidad.

1.2.1.2.3. Aguas residuales y procedentes de procesos

Como foco frío se pueden utilizar efluentes industriales, aguas utilizadas para enfriar procesos de la industria o de los condensadores de producción de energía eléctrica, aguas residuales, etc. Son fuentes con una temperatura constante a lo largo del año. Los principales problemas para su utilización son la corrosión y obstrucción del evaporador como consecuencia de las sustancias contenidas en las mismas.

Las principales ventajas e inconvenientes de usar como foco externo agua a nivel general, son:

FOCO EXTERNO AGUA	
Ventajas	Inconvenientes
Producen mejores rendimientos ya que la temperatura del foco frío es más estable y uniforme a lo largo del año. Por tanto COP más constante.	Baja disponibilidad de medio frío, como ríos, lagos, aguas subterráneas a una Temperatura de unos 13 °C de media
Temperaturas más estables	Tareas de mantenimiento
Aguas subterráneas tienen temperatura más estable que la de lagos o ríos.	Legionela
El nivel de ruido es menor porque las bombas necesarias para la impulsión de agua son más silenciosas que los ventiladores necesarios para los equipos de aire.	Altos Costes debido a la complejidad de la instalación
Si se realiza una instalación por medio de suelo radiante, el COP ya que se aprovecha mejor el calor transferido, Toda la superficie es el intercambiador.	

Figura 1.8. Ventajas e inconvenientes del agua como foco externo

1.2.2. Resumen de las Ventajas e Inconvenientes de utilizar aire o agua como foco externo

En la figura 1.9 se muestra un resumen de lo visto en los apartados anteriores que hacen referencia al foco externo del sistema de una bomba de calor.

Focos Externos	Ventajas	Inconvenientes	Rango de Temperaturas
Aire Atmosférico	Disponibilidad, recurso inagotable. Menores Costes	Variabilidad de temperaturas. Escarcha; Se resuelve invirtiendo el ciclo durante pequeños periodos, lo que supone un gasto adicional de energía.	-10/15°C
Aire de extracción	Recupera el calor del aire de ventilación y proporciona calefacción. COP mayor. No hay problemas de escarcha.	La disponibilidad, solo dispondremos de él cuando ventilemos aire cargado.	15/25°C
Pozos y agua en el subsuelo	Estabilidad térmica. Altos rendimientos, evita la dependencia energética del exterior. Ausencia de ruidos exteriores, recurso inagotable.	Requiere condiciones terrenales adecuadas, entre ellas una gran superficie. Coste elevado.	0/10°C
Aguas naturales	Estabilidad térmica. Mar: Temperatura 3-8°C escarche no. Altos rendimientos.	Mar: Algas y la corrosión Lagos y ríos: Congelación (~0°C), plagas. Legionela. General: Disponibilidad.	0/10°C
Aguas residuales y procedentes de procesos	Temperatura constante a lo largo del año. Mayor aprovechamiento de la energía.	Corrosión, suciedad, distancia con el usuario. En el caso de aguas residuales la corrosión y obstrucción del evaporador como consecuencia de las sustancias contenidas en las mismas.	>10°C

Figura 1.9. Resumen de las ventajas e inconvenientes de usar aire o agua como foco externo. Rango de Temperaturas.

1.2.3. Tipología de la bomba de calor según su construcción.

Por la forma de construir la máquina, ésta puede ser:

Compacta: Todos los elementos que constituyen la Bomba de Calor se encuentran alojados dentro de una misma carcasa.

Split o partidas: Están constituidas por dos unidades separadas. Una exterior donde se aloja el compresor y la válvula de expansión y una unidad interior. De esta manera se evitan los ruidos en el interior local.

Multi-split: Están constituidas por una unidad exterior y varias unidades interiores.

1.2.4. Tipología de la bomba de calor según su funcionamiento.

Reversibles: Pueden funcionar tanto en ciclo de calefacción como en ciclo de refrigeración invirtiendo el sentido de flujo del fluido frigorífico gracias a una válvula de 4 vías.

No reversibles: Únicamente funcionan en ciclo de calefacción.

Termofrigobombas: Producen simultáneamente frío y calor.

1.2.5. Tipología de los compresores en la bomba de calor.

1.2.5.1. Foco exterior: aire

Compresor Alternativo Hermético: El rango de potencias, tanto caloríficas como frigoríficas, generalmente está por debajo de 100KW, este tipo de compresor se encuentra instalado en la mayoría de bombas de calor fabricadas en España, que están destinadas, principalmente, a uso doméstico. Esta gama de potencias de menos de 100KW y la potencia consumida por el compresor, que esta depende de su tipología.



Figura 1.10. Bomba de calor con compresor alternativo hermético.

Compresor Alternativo Semihermético: El rango de potencias, tanto caloríficas como frigoríficas, generalmente está entre 30 y 950 KW, este tipo de compresor se encuentra instalado en las bombas de calor destinadas, tanto a uso industrial, como en oficinas u otros espacios similares.



Figura 1.11. Bomba de calor que utiliza como foco externo aire, con compresor tipo scroll.

Compresor Rotativo o Scroll: El rango de potencias, tanto caloríficas como frigoríficas, generalmente está por debajo de 450 KW, este tipo

de compresor se encuentra instalado en las bombas de calor, que están destinadas, sobretodo, a oficinas o establecimientos medios.

Compresor Rotativo de tornillo o Screw: El rango de potencias, tanto caloríficas como frigoríficas, generalmente está entre 300 y 1600KW, este tipo de compresor se encuentra instalado en las bombas de calor que están destinadas, sobretodo, a naves industriales, grandes centros comerciales, etc.

1.2.5.2. Foco exterior: agua

Compresor Alternativo Hermético: El rango de potencias, tanto caloríficas como frigoríficas, generalmente está por debajo de 150KW, este tipo de compresor se encuentra instalado en la mayoría de bombas de calor fabricadas en España, que están destinadas, principalmente, a uso doméstico. Esta gama de potencias de menos de 100KW y la potencia consumida por el compresor, que esta depende de su tipología.

Compresor Alternativo Semihermético:

El rango de potencias, tanto caloríficas como frigoríficas, generalmente está entre 30 y 1150 KW, este tipo de compresor se encuentra instalado en las bombas de calor destinadas, tanto a uso industrial, como en oficinas u otros espacios similares.

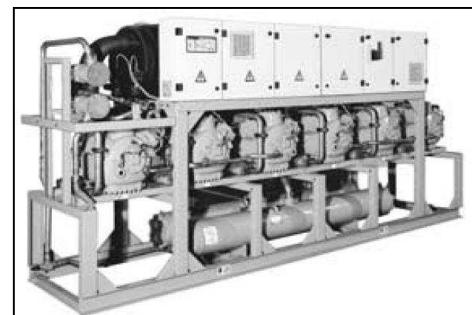


Figura 1.12. Bomba de Calor que funciona con un compresor semihermético alternativo

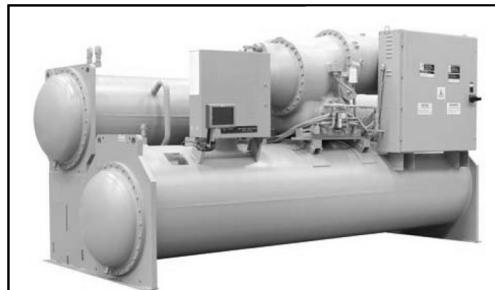
Compresor Rotativo o Scroll: El rango de potencias, tanto caloríficas como frigoríficas, generalmente está por debajo de 500KW, este tipo de compresor se encuentra instalado en las bombas de calor, que están destinadas, sobretodo, a oficinas o establecimientos medios.



Figura 1.13. Bomba de calor con compresor tipo tornillo.

Compresor Rotativo de tornillo o Screw: El rango de potencias, tanto caloríficas como frigoríficas, generalmente está entre 300 y 1600KW, este tipo de compresor se encuentra instalado en las bombas de calor que están destinadas, sobretodo, a naves industriales, grandes centros comerciales, etc.

Compresor Centrifugo: El rango de potencias, tanto caloríficas como frigoríficas, generalmente está entre 800 y 25000KW, este tipo de compresor se encuentra instalado en las bombas de calor que están destinadas a grandes hoteles o centros comerciales, además de usarse en enfriadoras de agua para muchos usos industriales.



con compresor

Como Tabla resumen de lo explicado en los dos apartados anteriores, se propone la siguiente tabla:

AIRE AGUA	Tipo de Compresor	Alternativo Hermético	Alternativo Semihermético	Scroll	Screw o tornillo	Centrifugo
	Potencia (kW)	<100	30-950	<450	300-1600	
	Potencia (kW)	<150	30-1150	<500	300-1600	800-25000
Aplicación	Uso Domestico	Uso Industrial, oficinas, hospitales...	Oficinas, sector terciario	Uso Industrial	Uso Industrial	

Figura 1.15. Tabla Resumen acerca de las características de la bomba de calor en función del tipo de compresor

1.3. Situación de la Bomba de Calor.

El principio de funcionamiento de las Bombas de Calor no es reciente. Sus orígenes provienen del establecimiento por Carnot en 1824, de los conceptos de ciclo y reversibilidad, y por la concepción teórica posterior de Lord Kelvin. Un gas evolucionaba cíclicamente, era comprimido y posteriormente expansionado, obteniendo frío y calor.

El desarrollo de los equipos de refrigeración tuvo un rápido progreso, en aplicaciones como la conservación de alimentos y el aire acondicionado. Sin embargo las posibilidades de utilizar la otra fuente térmica, el calor o el frío y calor simultáneamente no se aprovecharon. Esto fue debido por una parte a las dificultades tecnológicas que presentaba la construcción de la Bomba de Calor y por otra al bajo precio de la energía, que hacía que ésta no fuera competitiva con los sistemas tradicionales de calefacción a base de carbón, fuel-oil o gas, que presentaban una clara ventaja en relación con sus costes.

A finales de los años cincuenta se inició la expansión de la Bomba de Calor en Estados Unidos y su producción en serie, con la siguiente evolución en el número de ventas: 1954 (2.000 unidades), 1957 (10.000 unidades), 1963 (76.000 unidades). En Europa no se inicia su comercialización hasta 1970. Así, en 1973 se vendieron en Francia 600 Bombas de Calor de tipo doméstico y 7.000 unidades en 1977. En España en 1980, del orden de 2.500 unidades. En 1968 se realizó la primera instalación con Bomba de Calor a gas en Europa, en una pista polideportiva holandesa. La crisis del petróleo y el alza de los precios de los combustibles a partir de 1973, impulsó las investigaciones en nuevos equipos de alta eficiencia, además de cambiar el posicionamiento de los costes de calefacción, situación que benefició el desarrollo de la Bomba de Calor. A lo largo de estos años además de los cambios coyunturales que han propiciado el aumento de las ventas, las Bombas de Calor han tenido una evolución positiva desde el punto de vista tecnológico. En un principio, el desarrollo se centró en equipos reversibles aire-aire.

En el momento actual la utilización de Bombas de Calor se justifica, además de por el ahorro energético que suponen, por su contribución a la reducción de las emisiones de CO₂. Las Bombas de Calor consumen menos energía primaria que los medios tradicionales de calefacción. Sin embargo a nadie se le escapa que el efecto sobre el medio ambiente de las Bombas de Calor depende mucho de cómo se genere la energía eléctrica. Si la energía eléctrica proviene de fuentes como la hidroeléctrica ó eólica, es clara la reducción de las emisiones, pero incluso cuando la electricidad que alimenta las bombas es generada mediante centrales térmicas de combustibles fósiles, se demuestra que la reducción total de emisiones es importante.

1.3.1. En el Mundo

El mayor despliegue de fabricantes de bomba de calor tiene lugar en Japón donde empresas como DAIKIN, fundada en 1924, fue el primer fabricante de equipos de aire

acondicionado en Japón. Empieza a fabricar Bombas de Calor en el año 1958. La fabricación de unidades Split fue uno de los mayores logros en ventas no solo en Japón sino en todo el Mundo. Visto el éxito de la fabricación de dichos equipos de aire acondicionado en seguida empresas japonesas competentes como pudieron ser Hitachi, Mitsubishi o Sanyo dedicadas íntegramente a la electrónica, se involucraron en el sector de la bomba de calor. Gracias a este despliegue masivo de producción de la bomba de calor, hoy en día Japón mantiene una gran ventaja, como se aprecia en la Figura 1.16, respecto a las otras potencias industriales como son China, USA o Europa.

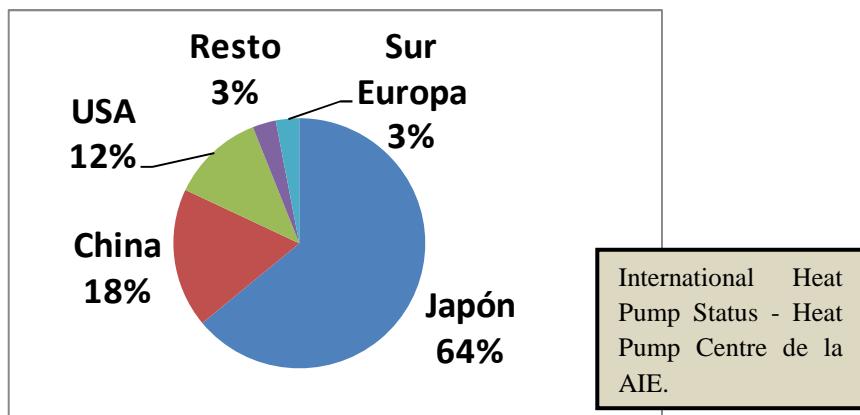


Figura 1.16. La producción de bomba de calor en el mundo.

1.3.2. En Europa

En la Figura 1.16. se observa para Europa unos datos muy bajos, alrededor de un 3% en comparación con las otras potencias mundiales de la bomba de calor.

Haciendo un análisis de ese 3% de bombas instaladas, se puede observar esta información recogida por el Heat Pump Centre de la AIE; donde se presenta a España como el país europeo donde más bombas de calor se instalan, seguido de Grecia e Italia con menos porcentaje de bombas de calor instaladas. Un tópico característico de esta gráfica es que solo aparecen países mediterráneos; esto es debido a que el clima mediterráneo es el más recomendado para hacer un uso eficiente de la bomba de calor; aunque estos últimos años se ha impulsado en el centro y el norte de Europa las bombas de calor que utilizan como foco externo agua por medio de pozos y baterías enterradas en el terreno.

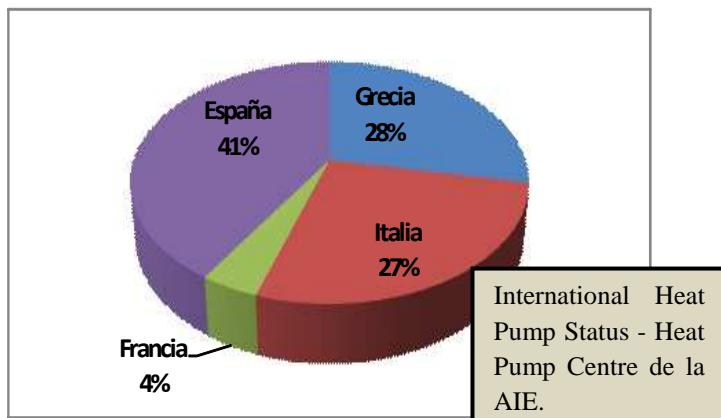


Figura 1.17. Bombas de calor instaladas en el sur de Europa.

1.3.3. En España

El numero de fabricantes de bomba de calor estudiado ascendió a 30 se han computado 391 series con un total de 2707 modelos.

Los datos proporcionados por el IDAE en su publicación *Documento técnico de la bomba de calor*, aseguran que el 56% de los modelos comercializados en España son fabricados en nuestro país, bien por empresas de capital nacional, bien por empresas de capital extranjero.

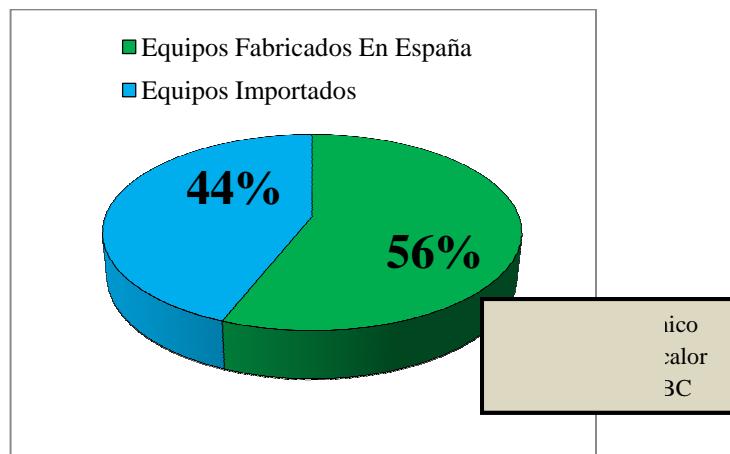


Figura 1.18. Bombas de calor fabricadas en España e Importadas

Para ampliar la información suministrada para España, se propone una estimación estadística realizada por el IDAE y ENEBC acerca de las diferentes tipologías de bomba de calor instaladas en España. Se observa que las unidades más demandadas por el sector son las unidades Aire-Aire con un 71 % de las instalaciones.



Figura 1.19. Tipologías de bomba de calor en España

Como se recoge en la figura 1.20, dentro de los modelos aire-aire el 66% de las series fabricadas son equipos partidos (Split), el 20% son equipos compactos y el 14% restante lo configuran equipos multi-split.

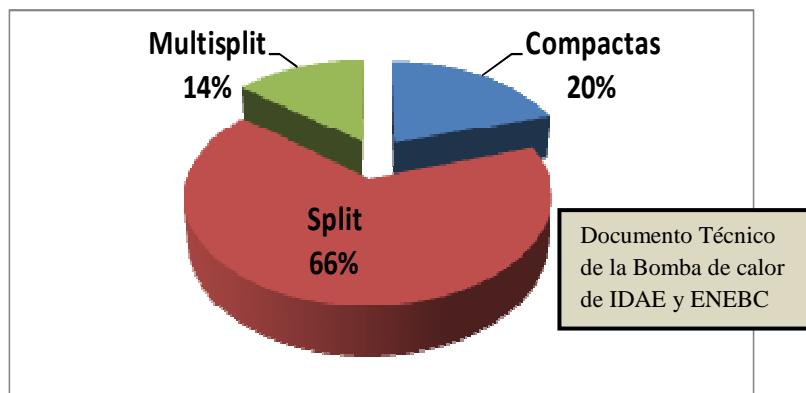


Figura 1.20. Porcentaje de series de bomba de calor según su construcción

En los próximos años se estima que en España se amplíen las instalaciones de Bomba de calor que intercambia calor con el terreno (Agua- Agua con pozos, baterías enterradas). Actualmente en esta tipo de bombas de calor España es un mercado emergente que se consolidara en los años venideros.

1.4. Eficiencia en ciclos de compresión de vapor.

La eficiencia de un equipo bomba de calor, tanto a nivel nacional como internacional, se le conoce como COP, *Coefficient Of Performance* o en español *Coeficiente de prestación*.

El COP *coeficiente de prestación*, se define como el cociente entre la energía térmica cedida por el sistema (calor suministrado por la bomba de calor) y la energía consumida (por el compresor, ventiladores...).

En un ciclo ideal de Carnot:

$$COP_{calefaccion\;ideal} = \frac{\dot{Q}_C}{\dot{Q}_C - \dot{Q}_F} = \frac{T_c (s_2 - s_1)}{(T_c - T_f)(s_2 - s_1)} = \frac{T_c}{T_c - T_f}$$
$$EER_{ideal} = COP_{Refrigeración\;ideal} = \frac{\dot{Q}_F}{\dot{Q}_C - \dot{Q}_F} = \frac{T_f (s_2 - s_1)}{(T_c - T_f)(s_2 - s_1)} = \frac{T_f}{T_c - T_f}$$

Tc: Temperatura absoluta del foco caliente
Tf: Temperatura absoluta del foco frío

No es posible encontrar valores de rendimientos más altos que los ideales dado que trasgrediríamos el segundo principio de la termodinámica. No obstante, todos los procesos reales tienen alguna irreversibilidad, ya sea mecánica por rozamiento, térmica o de otro tipo; por tanto para estos equipos reales se calcula el COP, por medio de la Potencia calorífica y la potencia consumida (datos experimentales):

$$COP = \frac{\text{Potencia calorífica suministrada por el condensador}}{\text{Potencia consumida por el equipo}}$$

Así pues, algunos de los tipos de COP/ EER con más utilidad:
COP/EER instantáneo

El COP instantáneo es el que proporciona el equipo para unas condiciones de funcionamiento fijas. Este dato es el que habitualmente se proporciona en los catálogos técnicos de los fabricantes. Sin embargo, en el transcurso de una temporada de calefacción, las condiciones de temperatura exterior están variando constantemente. En consecuencia, el C.O.P. que proporciona el equipo también está fluctuando, siguiendo las variaciones de la temperatura exterior. A fin de poder calcular el C.O.P. de cualquier equipo que esté funcionando en una instalación determinada, a lo largo de toda una temporada de calefacción debe procederse a calcular el C.O.P. estacional.

Una de las ventajas principales de una bomba de calor es ser reversible, es decir, además de poder suministrar energía térmica en forma de calor, también ser capaz de absorber dicha energía térmica y mandarla para el exterior, lo que es lo mismo, refrigerar.

La eficiencia de un equipo refrigerante o de forma similar, de una bomba de calor trabajando en verano, se le conoce como EER, *Energy Efficiency Ratio*, o en español Coeficiente de eficiencia frigorífica.

El EER coeficiente de eficacia frigorífica, mide la eficiencia energética de la bomba de calor cuando funciona como equipo refrigerador, o la eficiencia energética de cualquier otro equipo de frío, como un aire acondicionado, una enfriadora de agua, etc.

$$EER = \frac{\text{Potencia de refrigeración}}{\text{Potencia consumida por el equipo}}$$

Los tipos de EER, son similares a los de COP, pero en vez de hablar de potencia calorífica se habla de potencia de refrigeración.

SPF Coeficiente de prestación estacional, Seasonal performance factor.

El SPF medio estacional, es el rendimiento que más se aproxima a la realidad en una instalación durante un periodo de tiempo determinado.

En el capítulo 2 del presente proyecto se ampliará toda la información sobre este concepto y se presentara un ejemplo.

1.5. Análisis de prestaciones en el mercado de los equipos de bomba de calor y enfriadoras.

En el presente apartado, se ha realizado un estudio acerca de los valores de eficiencia instantánea (valores nominales) que presentan las bombas de calor y

enfriadoras en la actualidad. Además se ha incorporado una clasificación de dicha eficiencia en función de la tipología del compresor de la bomba de calor.

Así pues, se presentarán dos vías, las bombas de calor cuyo foco externo es aire y las bombas de calor cuyo foco externo es agua.

1.5.1. Foco Externo Aire

Las condiciones para las que se han calculado el estudio son:

Refrigeración: Temperatura aire exterior: 35°C bulbo seco.

Temperatura aire interior: 27°C/50% Humedad Relativa

Calefacción: Temperatura aire exterior: 7°C bulbo seco/ 6°C bulbo húmedo

Temperatura aire interior: 21°C.

1.5.1.1. Refrigeración

En la figura 1.21 se presentan los datos de eficiencia en refrigeración para distintos modelos de bomba de calor y enfriadora que condensan por aire.

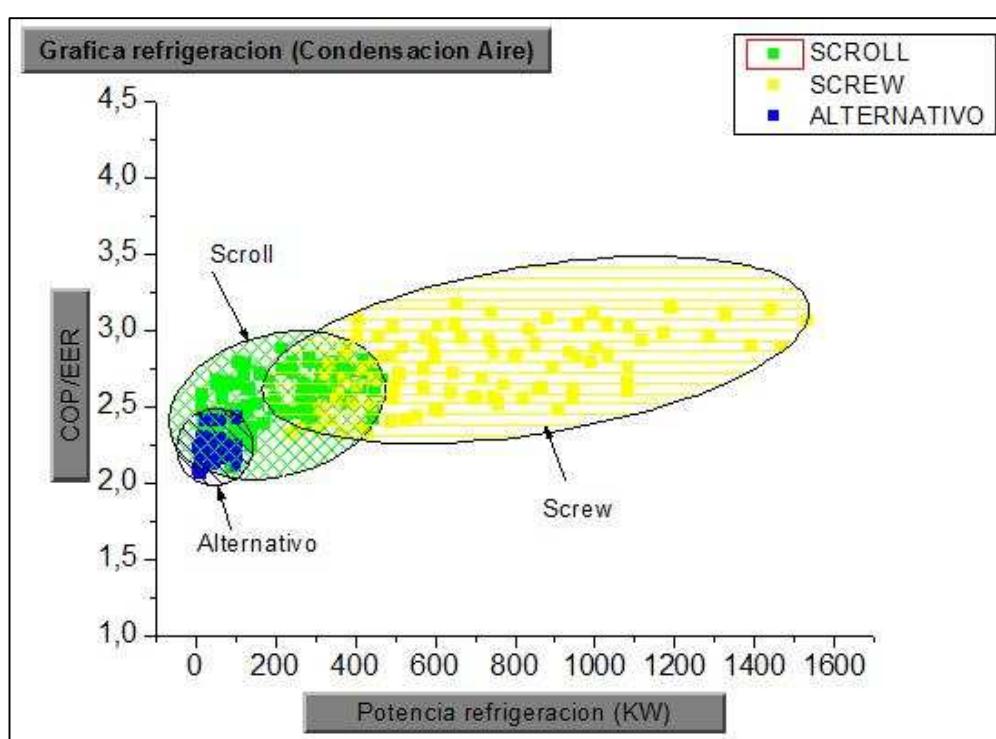


Figura 1.21. Gráfica que representa la eficiencia frigorífica frente a la potencia frigorífica en equipos de condensación por aire.

1.5.1.2. Calefacción

En la figura 1.22 se presentan los datos de eficiencia en calefacción para distintos modelos de bomba de calor que evaporan por aire.

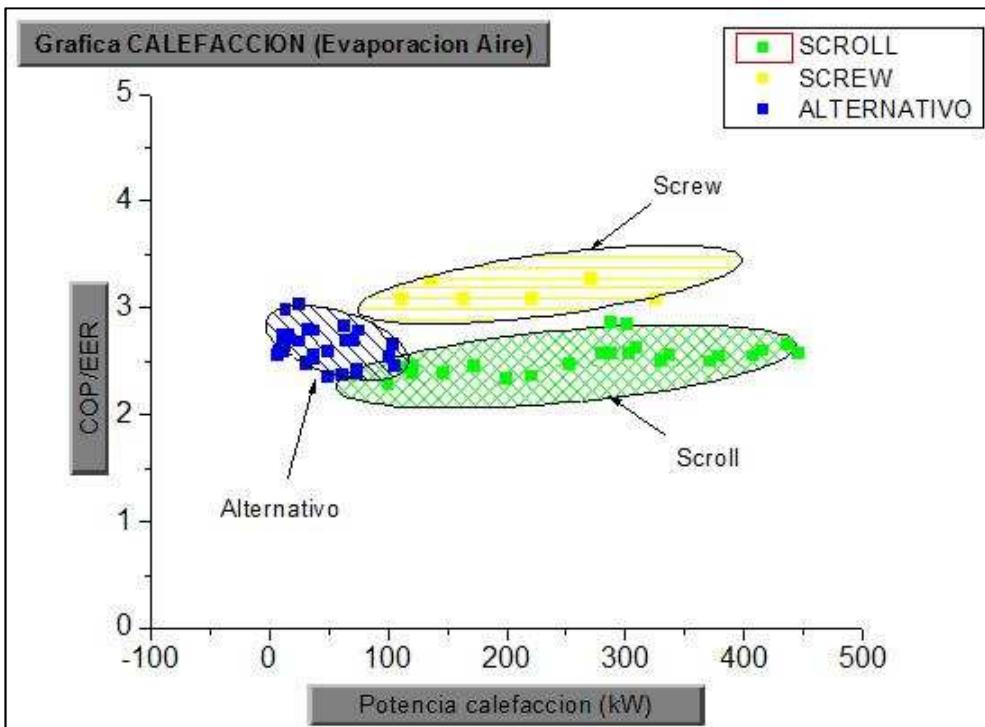


Figura 1.22. Gráfica que representa la eficiencia en calefacción frente a la potencia calorífica en equipos de evaporación por aire.

1.5.2. Foco Externo Agua

Las condiciones para las que se han calculado el estudio son:

Refrigeración: Temperatura Agua Evaporador: entrada: 12°C - salida: 7°C.

Temperatura agua Condensador: entrada: 30°C - salida: 35°C.

Calefacción: Temperatura Agua Evaporador: entrada: 10°C - salida: 5°C.

Temperatura Agua Condensador: entrada: 40°C - salida: 45°C.

1.5.2.1. Refrigeración

En la figura 1.23 se presentan los datos de eficiencia en refrigeración para distintos modelos de bomba de calor y enfriadora que condensan por agua.

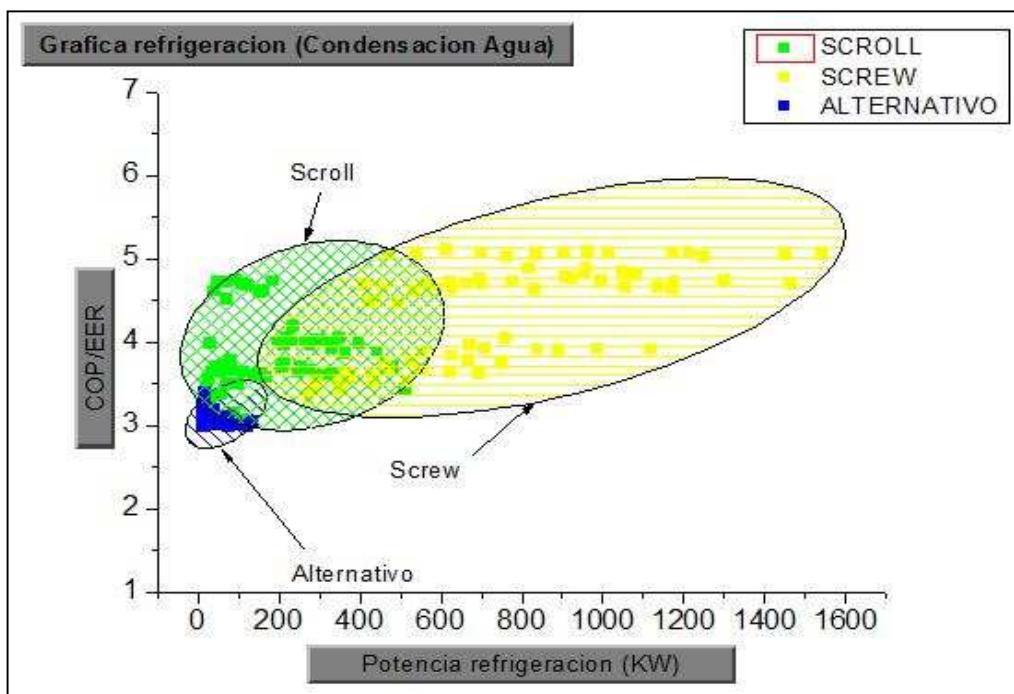


Figura 1.23. Gráfica que representa la eficiencia en refrigeración frente a la potencia frigorífica en equipos de condensación por agua.

1.5.2.2. Calefacción

En la figura 1.24 se presentan los datos de eficiencia en calefacción para distintos modelos de bomba de calor para bombas de calor que evaporan por agua.

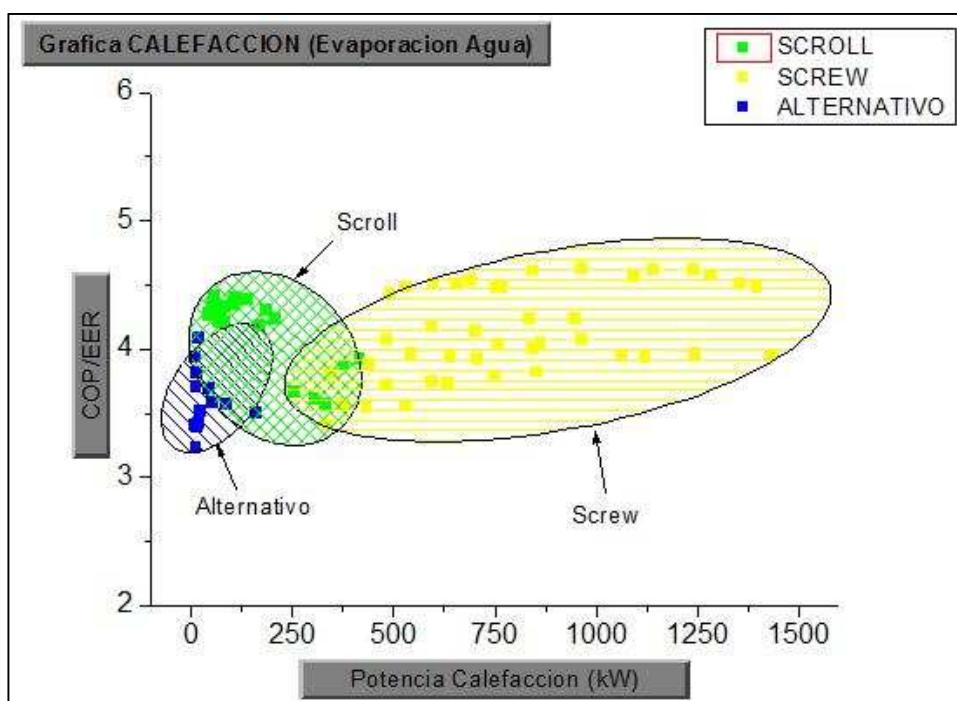


Figura 1.24. Gráfica que representa la eficiencia en calefacción frente a la potencia calorífica en equipos de evaporación por agua.

1.6. Influencia de las condiciones climatológicas ambientales en la eficiencia de las bombas de calor.

El presente apartado extiende las nociones del estudio realizado en torno a la influencia de la temperatura del foco externo en el rendimiento de la bomba de calor y unidad enfriadora. Este estudio se ha realizado teniendo en cuenta las tipologías de foco externo y para las diferentes bombas de calor y unidades enfriadoras utilizadas en el estudio del apartado 1.5.

1.6.1. Foco Externo Aire

Las condiciones para las que se han calculado el estudio son:

Refrigeración: Temperatura aire exterior: 35°C bulbo seco. Temperatura interior: aire: 27°C, agua: 7°C.

Calefacción: Temperatura aire exterior: 7°C bulbo seco (6 °C BH). Temperatura interior: aire: 21°C, agua: salida condensador: 45°C.

1.6.1.1. Refrigeración

En la figura 1.26 se observa como varia la eficiencia de la bomba de calor y unidad enfriadora en función de la temperatura (30-43°C) del aire exterior.

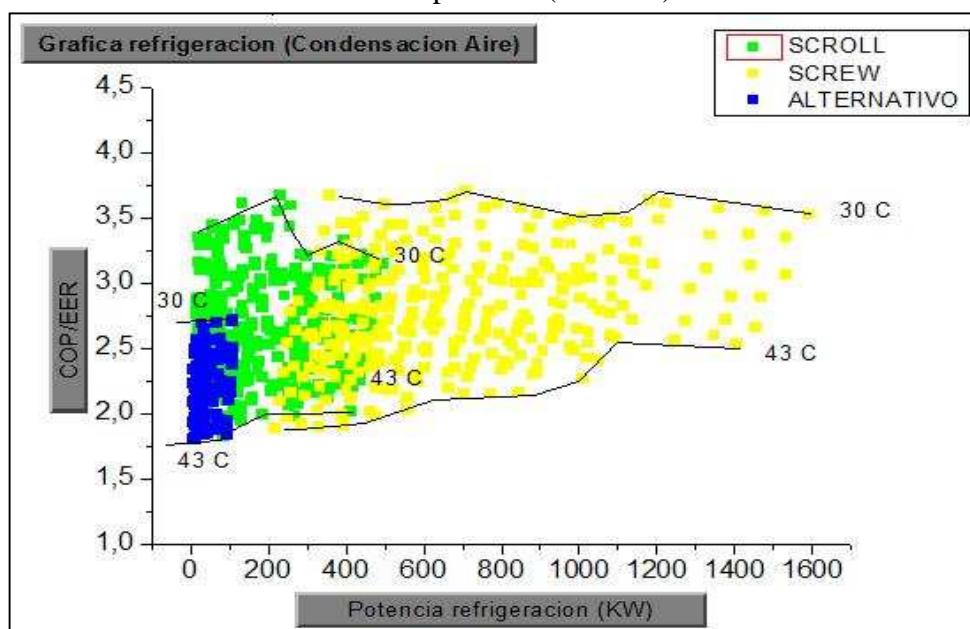


Figura 1.26. Gráfica que representa la variación de la eficiencia frigorífica en función de la potencia frigorífica y la temperatura del aire exterior.

Para poder analizar la gráfica más detenidamente, se ha procedido a realizar agrupaciones de las enfriadoras en función de su potencia de refrigeración y se han obtenido datos promedios de cada grupo, tanto del EER, del consumo y de la potencia de refrigeración a las temperaturas externas asignadas en el intervalo correspondiente de la tabla.

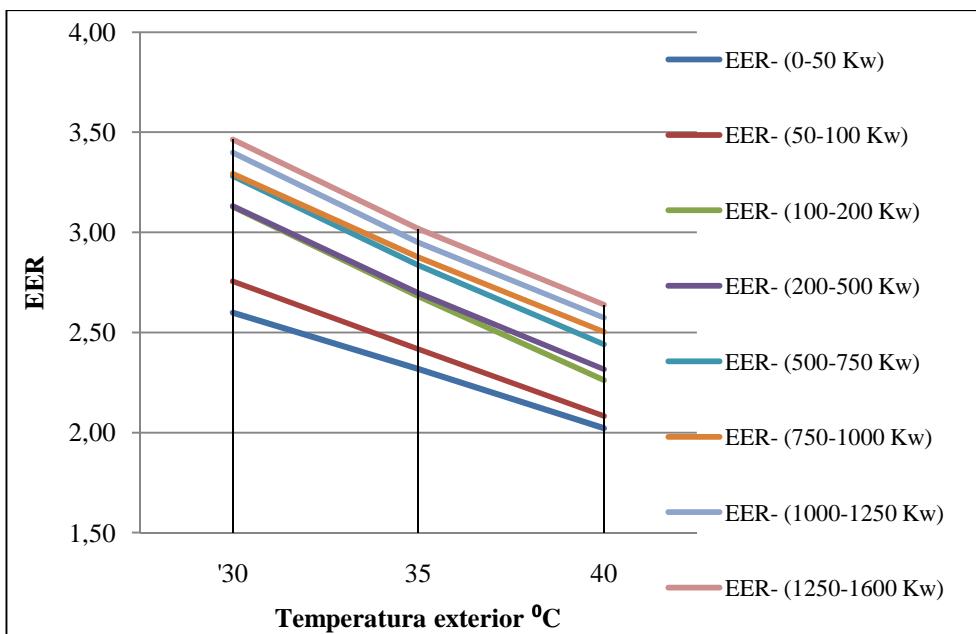


Figura 1.27. Gráfica Variación del EER de conjuntos de bombas de calor y enfriadoras agrupadas por su potencia en función de la Temperatura exterior del aire.

Rango de Potencias Refrigeración (Kw)	EER				Ecuación de la recta regresión
	30°C	35°C	40°C	EER nominal	
0-50	2,60	2,32	2,02	2,25	$y = -0,2887x + 2,8901$
50-100	2,76	2,42	2,08	2,33	$y = -0,3365x + 3,0915$
100-200	3,13	2,68	2,26	2,54	$y = -0,4338x + 3,5581$
200-500	3,13	2,70	2,32	2,65	$y = -0,4075x + 3,5296$
500-750	3,28	2,83	2,44	2,77	$y = -0,4202x + 3,6925$
750-1000	3,29	2,87	2,50	2,80	$y = -0,3952x + 3,6805$
1000-1250	3,40	2,95	2,57	2,89	$y = -0,4123x + 3,7983$
1250-1600	3,46	3,02	2,64	3,02	$y = -0,4122x + 3,865$

Potencia de Refrigeración

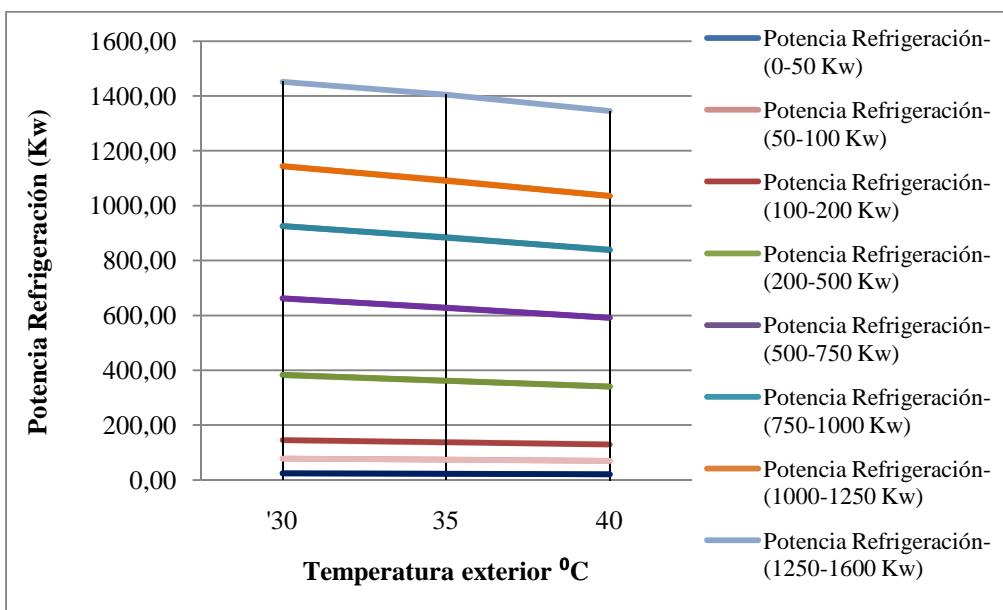


Figura 1.28. Variación de la potencia frigorífica en función de la temperatura del aire exterior

En la figura 1.28 se muestra en qué medida varía la potencia frigorífica en función de la temperatura exterior, con los equipos agrupados por potencia.

Rango de Potencias Refrigeración (Kw)	Potencia Refrigeración (KW)			Media
	30°C	35°C	40°C	
0-50	23,89	22,49	21,08	22,49
50-100	78,45	73,99	69,36	73,93
100-200	146,12	137,89	129,14	137,72
200-500	383,06	361,78	340,35	361,73
500-750	661,33	628,33	591,08	626,92
750-1000	924,97	885,88	837,96	882,93
1000-1250	1142,78	1093,00	1034,33	1090,04
1250-1600	1451,67	1404,17	1345,67	1400,50

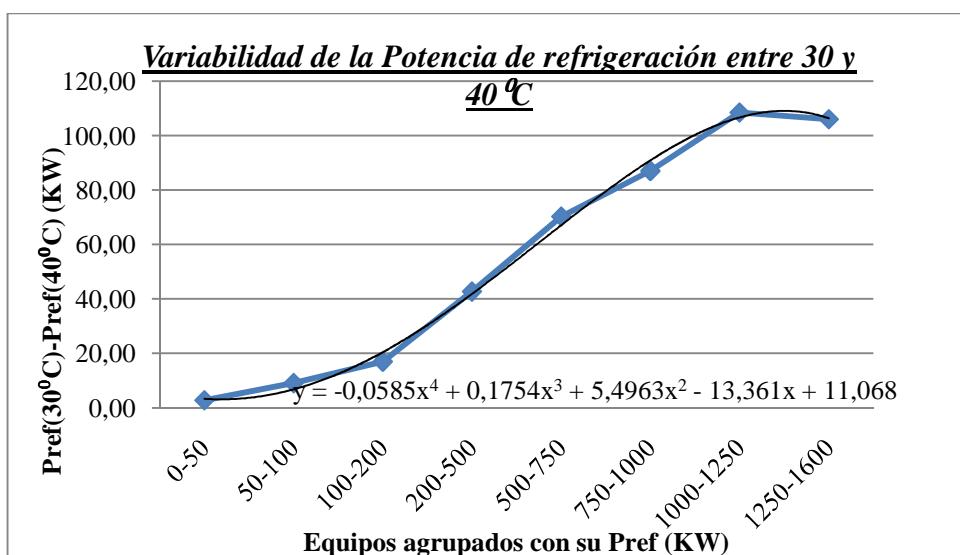


Figura 1.29. Variabilidad de la potencia frigorífica entre 30°C y 40°C del aire exterior de los grupos de equipos.

Potencia de Consumo

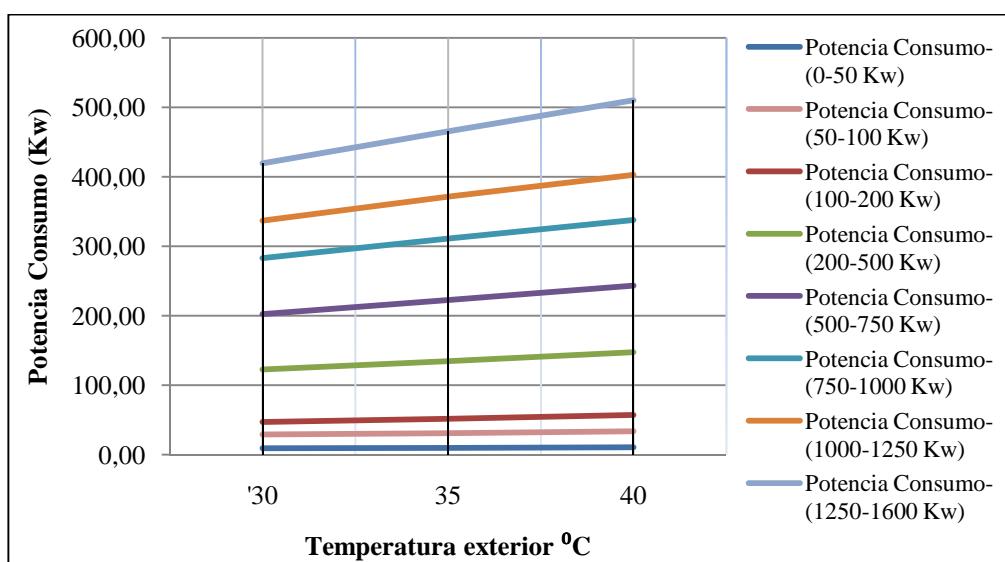


Figura 1.30. Variación del consumo-potencia (kW) en función de la temperatura del aire exterior

Rango de Potencias Refrigeración (Kw)	Consumo potencia (KW)			Media
	30°C	35°C	40°C	
0-50	9,26	9,77	10,51	9,85
50-100	29,05	31,05	33,72	31,27
100-200	47,02	51,65	57,43	52,03
200-500	122,69	134,54	147,35	134,86
500-750	202,29	222,60	243,46	222,78
750-1000	283,17	311,09	337,84	310,70
1000-1250	337,00	371,56	402,78	370,44
1250-1600	419,33	465,67	510,17	465,06

Así como la diferencia de potencias de refrigeración entre 40° y 30°C, visto en la figura 1.29, aumenta con respecto a la potencia del equipo de enfriadora, también ocurre lo mismo con el consumo; no obstante la principal diferencia es que en este caso las rectas son crecientes, quiere decir que a mayor temperatura en el exterior, más energía consumirá el equipo.

La figura 1.31 muestra que la variación de temperatura del foco exterior afecta más a los equipos de mayores potencias.

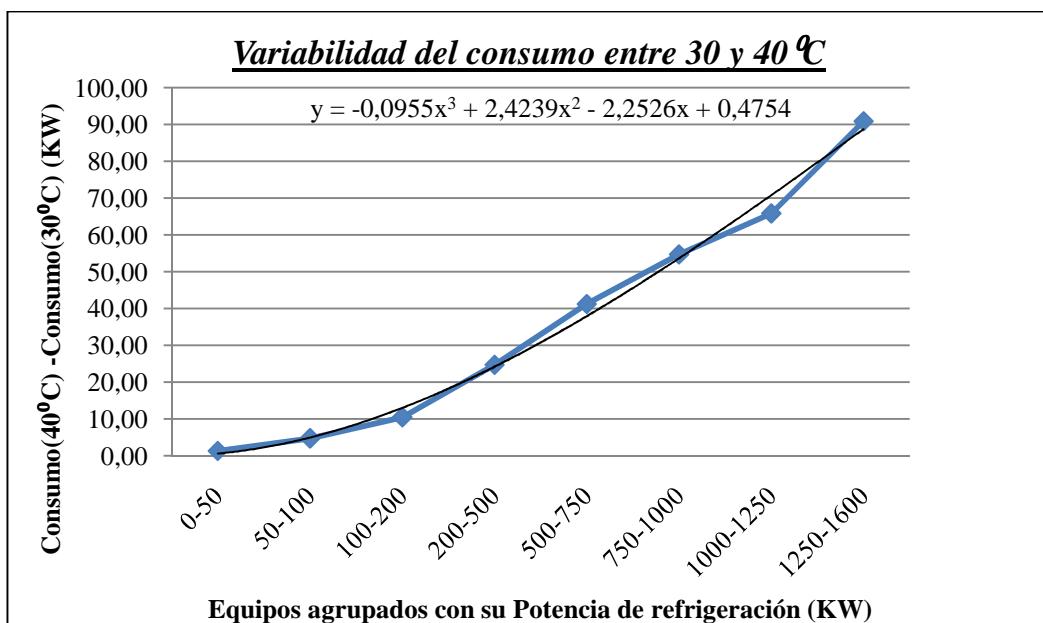


Figura 1.31. Variabilidad del consumo entre 30°C y 40°C del aire exterior de los grupos de bombas de calor y enfriadoras.

1.6.1.2. Calefacción

En la figura 1.30 se observa como varia la eficiencia de la bomba de calor en función de la temperatura (-5-10°C) del aire exterior.

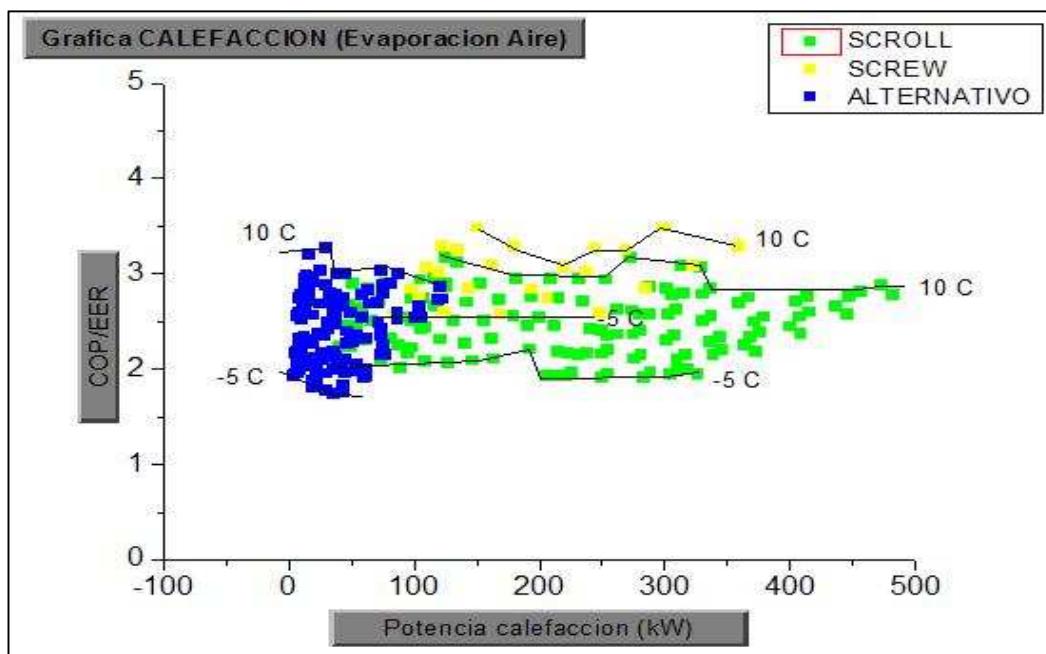


Figura 1.30. Variación de la eficiencia calorífica en función de la potencia calorífica y la temperatura del aire exterior.

Para poder analizar la gráfica más detenidamente, se ha procedido a realizar agrupaciones de las bombas de calor en función de su potencia de calefacción y se han obtenido datos promedios de cada grupo, tanto del COP, del consumo y de la potencia de calefacción a las temperaturas externas asignadas en el intervalo correspondiente de la tabla.

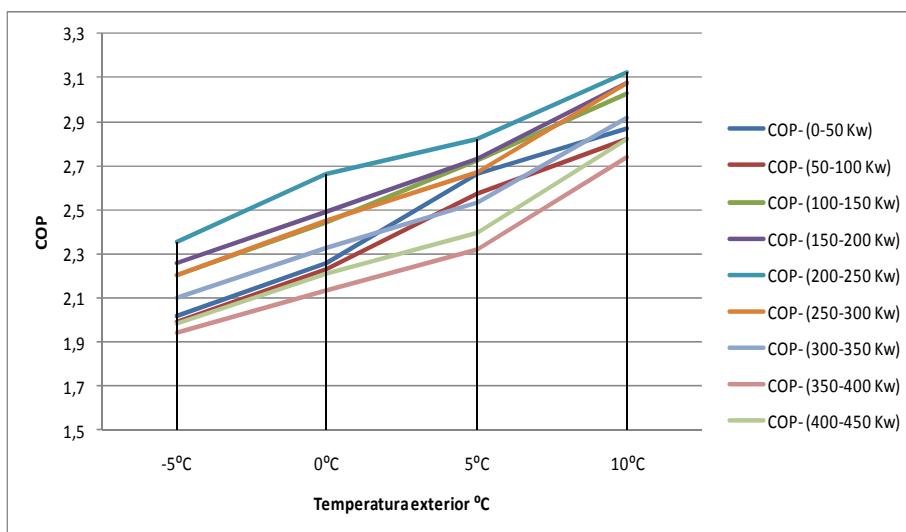


Figura 1.31. Variación del COP de conjuntos de bombas de calor agrupadas por su potencia en función de la temperatura del aire exterior.

Rango de Potencias Calefacción (Kw)	COP					Ecuación de la recta regresión
	-5°C	0°C	5°C	10°C	EER nominal	
0-50	2,02	2,26	2,66	2,87	2,66	$y = 0.2954x + 1.7143$
50-100	1,99	2,23	2,57	2,82	2,54	$y = 0.2852x + 1.6907$
100-150	2,20	2,44	2,73	3,03	2,65	$y = 0.2764x + 1.9092$

150-200	2,26	2,49	2,73	3,08	2,64	$y = 0.2683x + 1.9694$
200-250	2,36	2,66	2,82	3,13	2,74	$y = 0.2472x + 2.1235$
250-300	2,21	2,45	2,67	3,08	2,78	$y = 0.2834x + 1.8911$
300-350	2,10	2,33	2,53	2,92	2,71	$y = 0.2664x + 1.8042$
350-400	1,95	2,13	2,32	2,74	2,53	$y = 0.0585x^2 - 0.0367x + 1.9358$
400-450	1,99	2,21	2,40	2,82	2,61	$y = 0.0505x^2 + 0.0176x + 1.9306$

Potencia de Calefacción

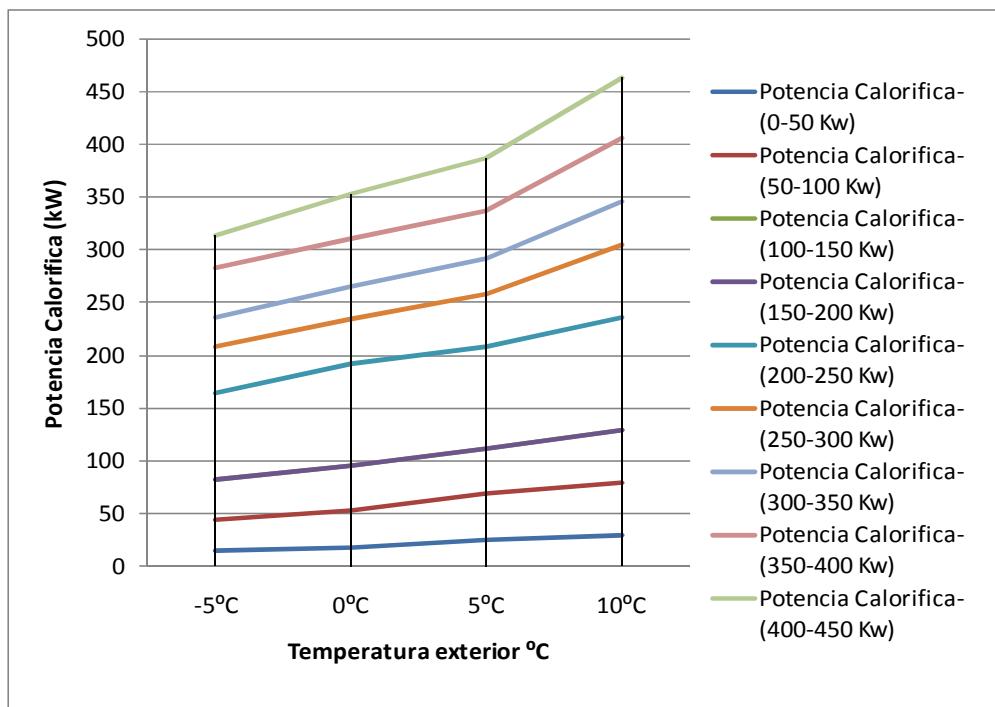


Figura 1.32. Variación de la potencia calorífica en función de la temperatura del aire exterior

Rango de Potencias Calefacción (Kw)	Potencia Calefacción (kW)			
	-5°C	0°C	5°C	10°C
0-50	14,92	18,10	24,54	28,71
50-100	43,99	53,10	68,20	79,68
100-150	82,50	94,78	111,97	129,43
150-200	131,43	147,30	164,20	189,03
200-250	164,70	191,40	208,00	236,65
250-300	207,78	233,83	257,97	304,47
300-350	235,37	264,68	292,25	345,38
350-400	283,33	310,60	337,87	406,20
400-450	313,58	353,68	386,63	462,83

En la figura 1.32 se muestra en qué medida varía la potencia calorífica en función de la temperatura exterior, con los equipos agrupados por potencia.

Consumo

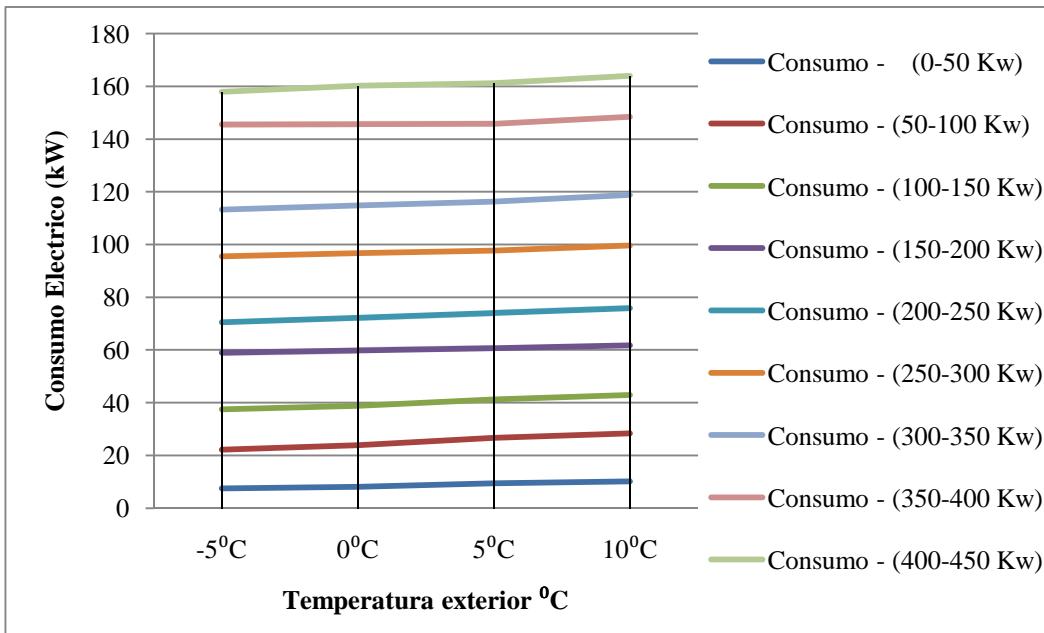


Figura 1.33. Variación del consumo-potencia (kW) en función de la temperatura del aire exterior

Rango de Potencias Calefacción (Kw)	Potencia Consumo (kW)			
	-5°C	0°C	5°C	10°C
0-50	7,49	8,13	9,39	10,14
50-100	22,13	23,84	26,61	28,33
100-150	37,45	38,84	41,24	42,88
150-200	59,00	59,80	60,70	61,73
200-250	70,50	72,25	74,00	75,80
250-300	95,57	96,73	97,69	99,70
300-350	113,22	114,78	116,23	118,88
350-400	145,60	145,70	145,80	148,40
400-450	157,95	160,20	161,18	163,98

1.6.2. Foco Externo Agua

Las condiciones para las que se han calculado el estudio son:

Refrigeración: Temperatura Agua Evaporador: entrada: 12°C - salida: 7°C.

Temperatura agua condensador: entrada: 30°C - salida: 35°C.

Calefacción: Temperatura Agua Evaporador: entrada: 10°C - salida: 5°C.

Temperatura Agua Condensador: entrada: 40°C - salida: 45°C.

1.6.2.1. Refrigeración

En la figura 1.34 se observa como varía la eficiencia de los equipos en función de la temperatura (35-50°C) de salida del agua del condensador.

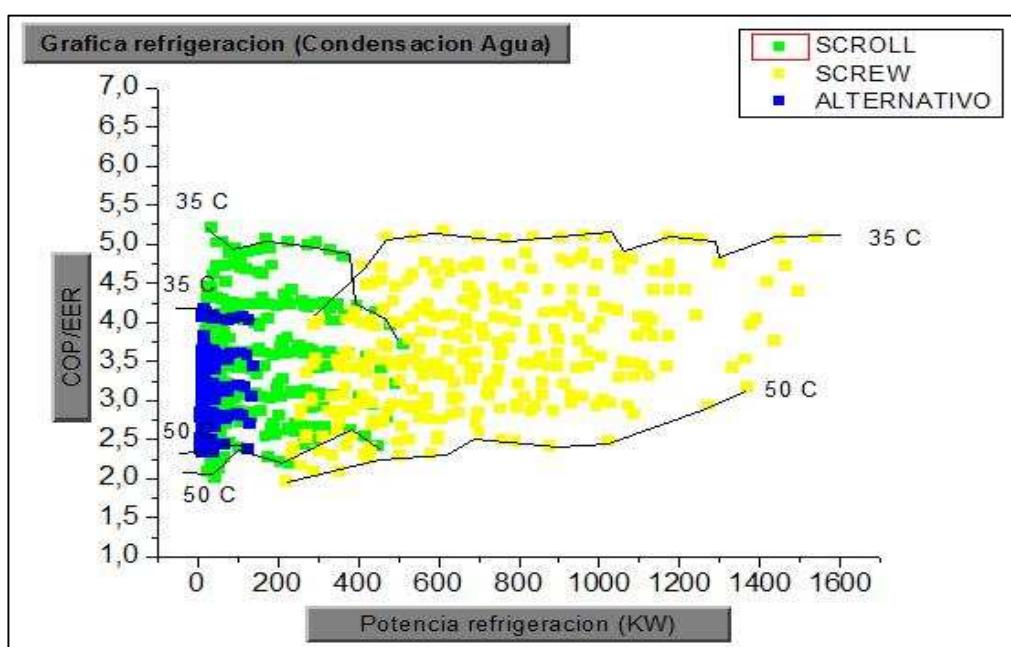


Figura 1.34. Variación de la eficiencia frigorífica en función de la potencia frigorífica y la temperatura de salida del agua del condensador.

Para poder analizar la gráfica más detenidamente, se ha procedido a realizar agrupaciones de las enfriadoras en función de su potencia de refrigeración y se han obtenido datos promedios de cada grupo, tanto del EER, del consumo y de la potencia de refrigeración a las temperaturas externas asignadas en el intervalo correspondiente de la tabla.

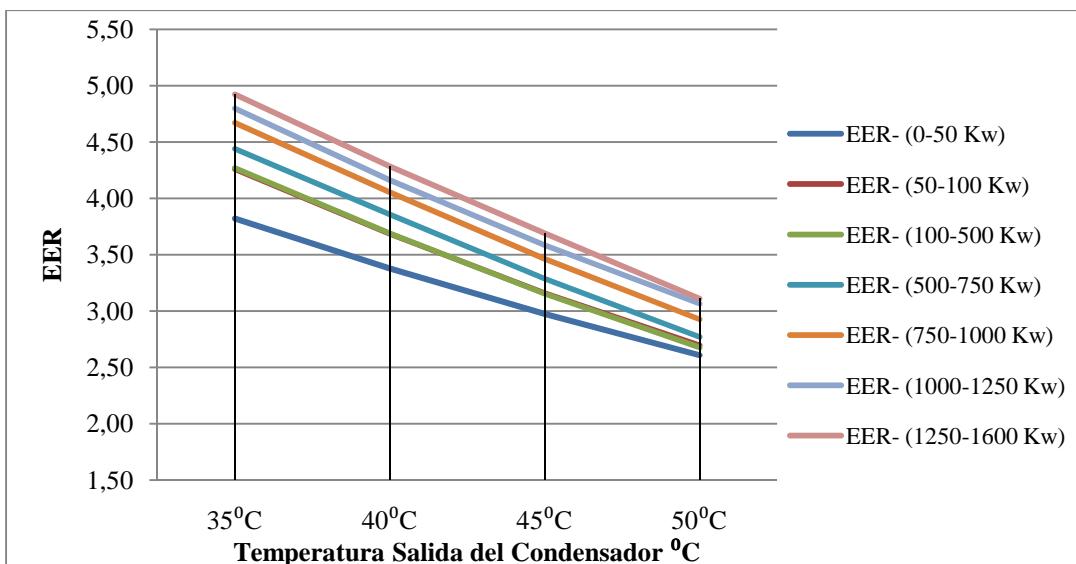


Figura 1.35. Variación del EER de conjuntos de bombas de calor y enfriadoras agrupadas por su potencia en función de la temperatura de salida del agua del condensador.

Rango de Potencias Refrigeración (kW)	EER					Ecuación de la recta regresión
	35°C	40°C	45°C	50°C	EER nominal	
0-50	3,82	3,38	2,97	2,61	3,26	$y = -0,4037x + 4,2034$
50-100	4,26	3,68	3,16	2,69	3,65	$y = -0,5224x + 4,7546$
100-500	4,27	3,69	3,15	2,68	3,86	$y = -0,5321x + 4,7775$
500-750	4,44	3,86	3,29	2,77	4,26	$y = -0,5587x + 4,9847$
750-1000	4,67	4,05	3,46	2,92	4,66	$y = -0,5828x + 5,235$
1000-1250	4,80	4,16	3,58	3,06	4,79	$y = -0,5779x + 5,3464$
1250-1600	4,92	4,28	3,69	3,11	4,90	$y = -0,6024x + 5,5076$

Potencia de Refrigeración

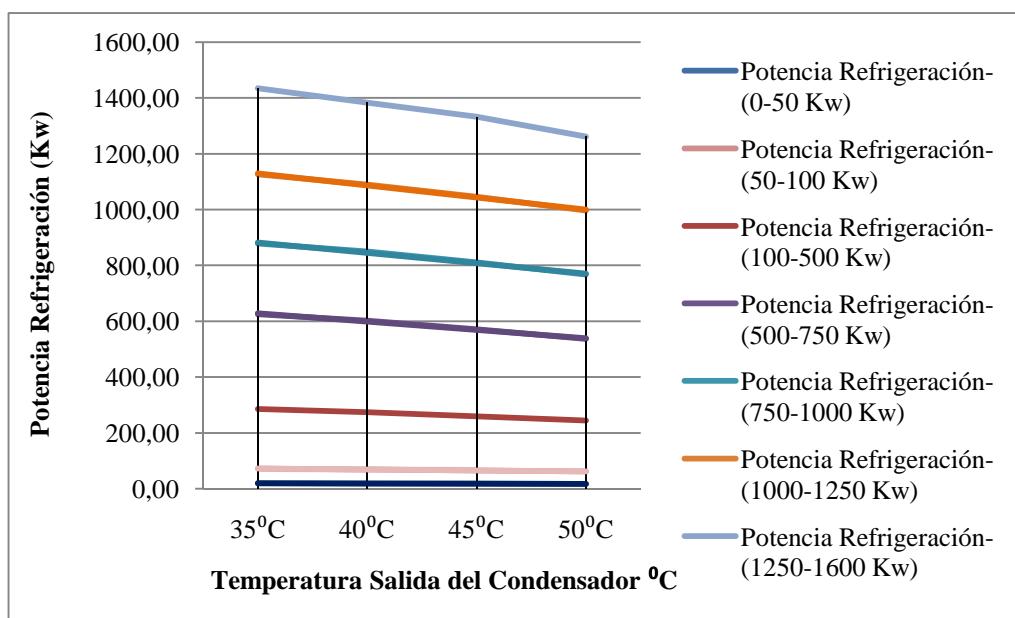


Figura 1.36. Variación de la potencia frigorífica de los conjuntos de bombas de calor y enfriadoras agrupadas por su potencia en función de la temperatura de salida del agua del condensador.

Rango de Potencias Refrigeración (Kw)	Potencia Frigorífica (KW)					MEDIA
	35°C	40°C	45°C	50°C	Potencia nominal	
0-50	19,53	18,81	18,01	17,16	18,89	18,38
50-100	72,75	69,51	65,98	62,19	69,84	67,61
100-500	285,38	273,73	259,67	244,39	279,26	265,79
500-750	625,05	602,31	570,72	536,32	616,86	583,60
750-1000	877,99	849,55	811,11	767,62	878,06	826,57
1000-1250	1126,64	1089,91	1046,00	996,24	1126,64	1064,70
1250-1600	1434,50	1382,75	1333,00	1261,00	1434,50	1352,81

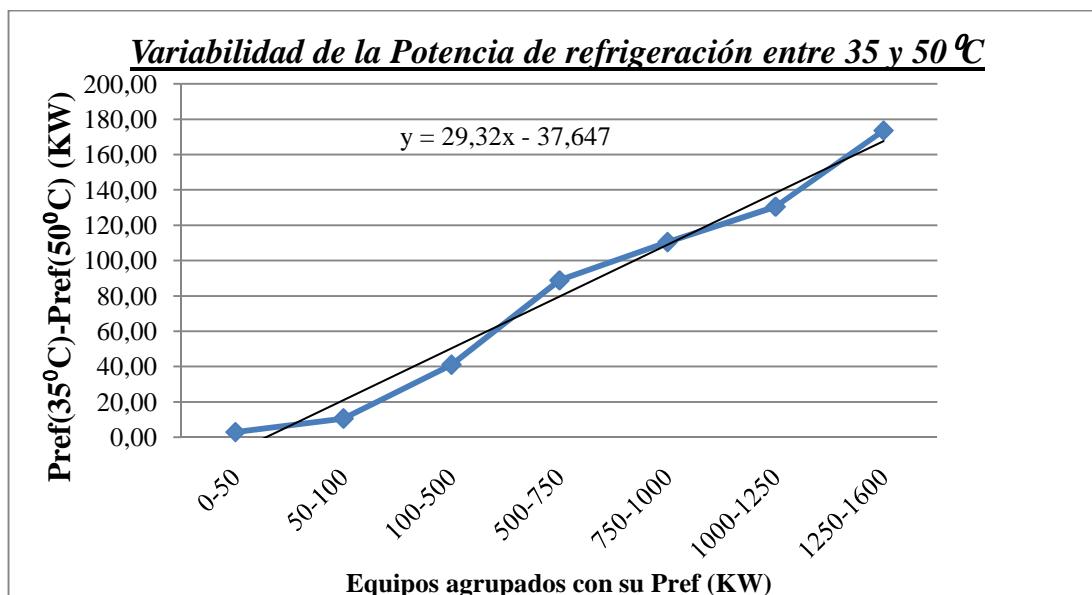


Figura 1.37. Variabilidad de la potencia frigorífica entre 35°C y 50°C del agua a la salida del condensador.

Consumo

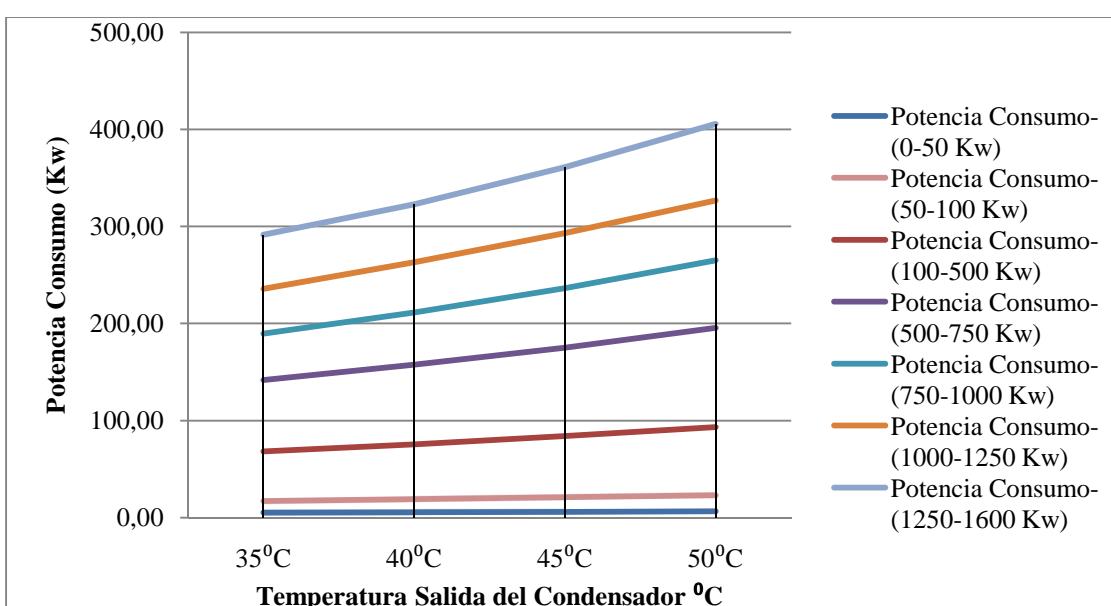


Figura 1.38. Variación del consumo (kW) en función de la temperatura del agua a la salida del condensador.

Rango de Potencias Refrigeración (kW)	Consumo (kW)					MEDIA
	35°C	40°C	45°C	50°C	Consumo nominal	
0-50	5,04	5,50	6,00	6,54	5,72	5,77
50-100	17,22	18,97	20,96	23,15	19,50	20,07
100-500	68,09	75,55	83,91	93,31	72,71	80,21
500-750	141,83	157,45	175,20	195,60	147,07	167,52
750-1000	189,65	211,45	236,30	265,07	190,13	225,62
1000-1250	235,86	263,05	293,19	326,75	236,36	279,71
1250-1600	291,43	322,93	361,20	405,48	292,50	345,26

Así como la diferencia de potencias de refrigeración entre 50° y 35°C aumenta con respecto a la potencia del equipo de enfriadora, también ocurre lo mismo con el consumo; no obstante la principal diferencia es que en este caso las rectas son crecientes, quiere decir que a mayor temperatura en el exterior, más energía consumirá el equipo.

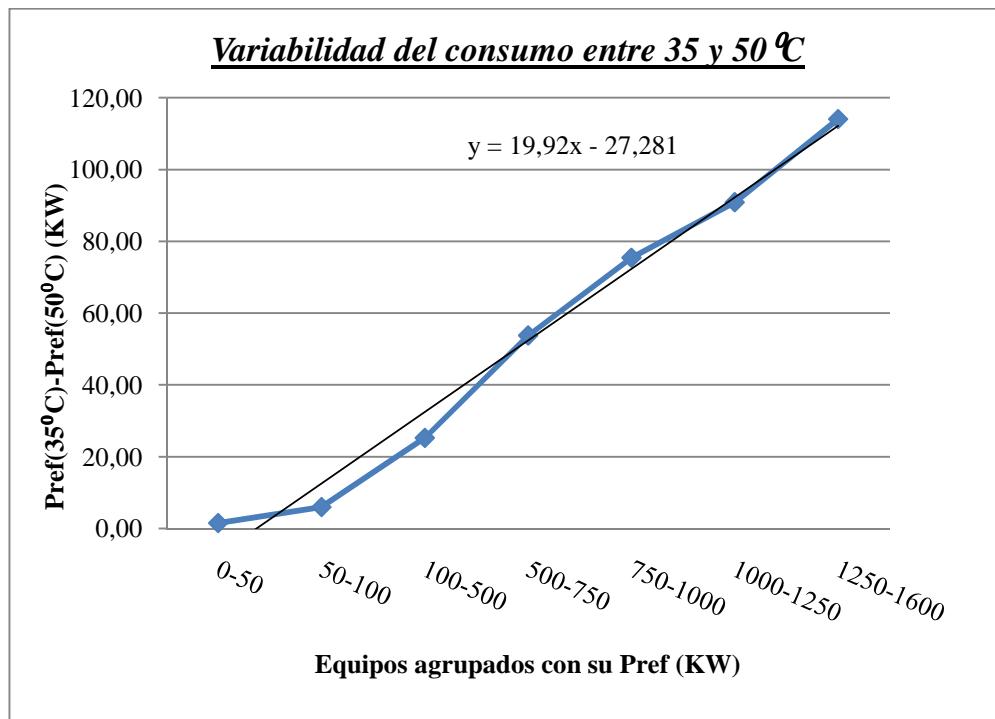


Figura 1.39. Variabilidad del consumo entre 35°C y 50°C del agua a la salida del condensador de los grupos de bombas de calor y enfriadoras.

1.6.2.2. Calefacción

En la figura 1.40 se observa como varia la eficiencia de la bomba de calor en función de la temperatura (5-12°C) de salida del agua del evaporador.

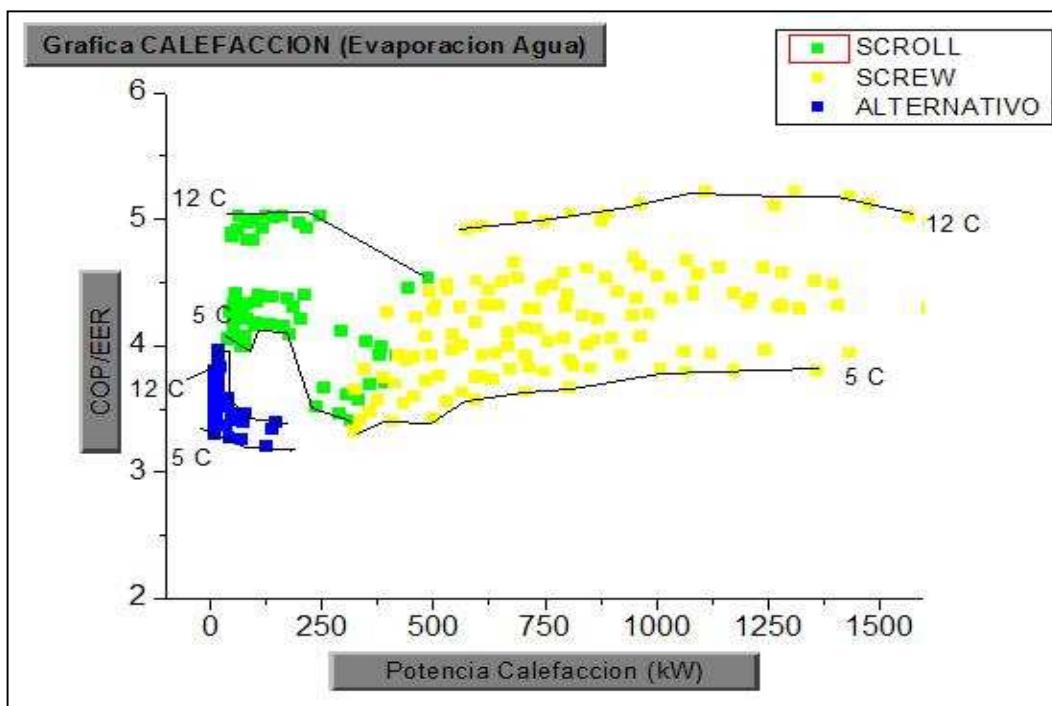


Figura 1.40. Variación de la eficiencia calorífica en función de la potencia calorífica y la temperatura de salida del agua del evaporador.

Para poder analizar la gráfica más detenidamente, se ha procedido a realizar agrupaciones de las bombas de calor en función de su potencia de calefacción y se han obtenido datos promedios de cada grupo, tanto del COP, del consumo y de la potencia de calefacción a las temperaturas externas asignadas en el intervalo correspondiente de la tabla.

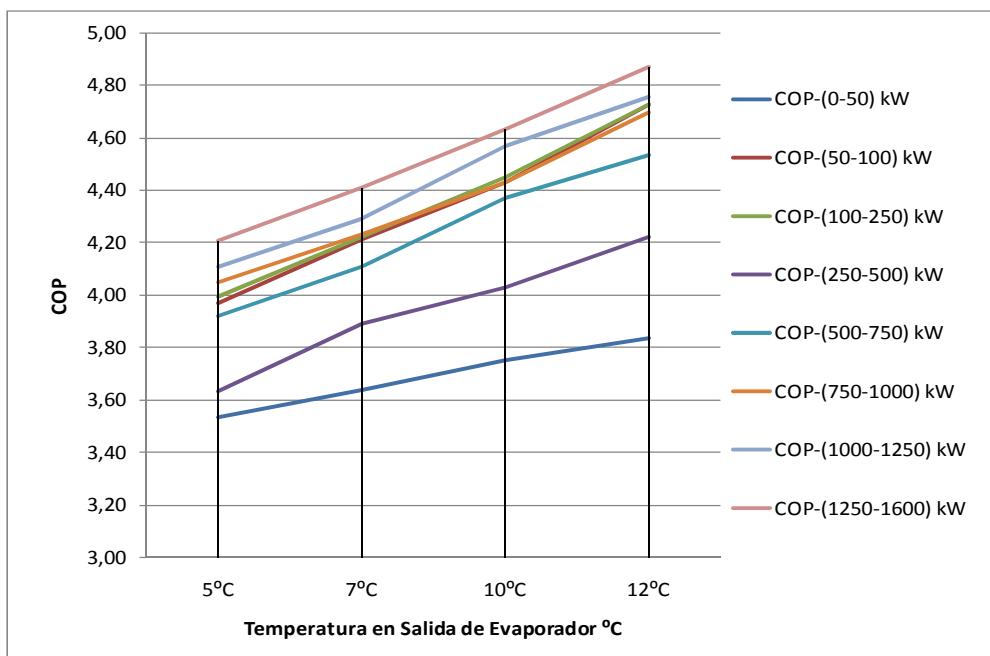


Figura 1.41. Variación del COP de conjuntos de bombas de calor agrupadas por su potencia en función de la temperatura del agua a la salida del evaporador.

Rango de Potencias Calefacción (Kw)	COP					Ecuación de la recta regresión
	5°C	7°C	10°C	12°C	COP nominal	
0-50	3,53	3,64	3,75	3,83	3,72	$y = 0,1011x + 3,4372$
50-100	3,97	4,21	4,43	4,73	4,20	$y = 0,25x + 3,7092$
100-250	3,99	4,22	4,45	4,73	4,17	$y = 0,243x + 3,7404$
250-500	3,63	3,89	4,03	4,22	3,79	$y = 0,1913x + 3,4652$
500-750	3,92	4,11	4,37	4,53	4,09	$y = 0,2097x + 3,7085$
750-1000	4,05	4,23	4,43	4,69	4,23	$y = 0,2135x + 3,817$
1000-1250	4,11	4,29	4,57	4,75	4,29	$y = 0,2216x + 3,8767$
1250-1600	4,21	4,41	4,63	4,87	4,39	$y = 0,2202x + 3,9787$

Potencia de Calefacción

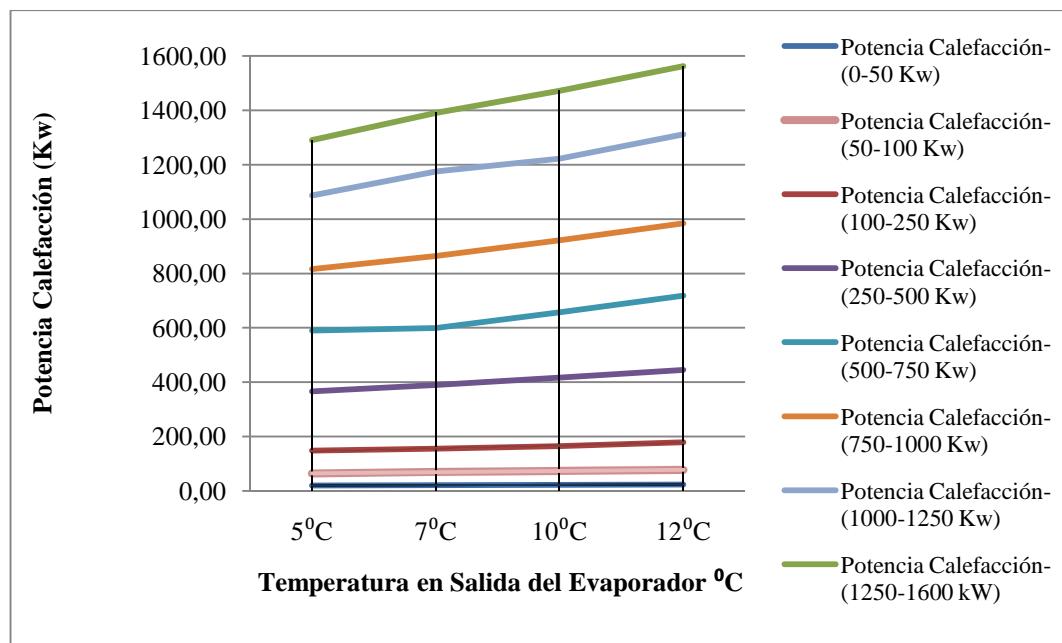


Figura 1.42. Variación de la potencia calorífica de conjuntos de bombas de calor agrupadas por su potencia en función de la temperatura del agua a la salida del evaporador.

Rango de Potencias Calefacción (Kw)	Rango de Potencias Calefacción (Kw)			
	5°C	7°C	10°C	12°C
0-50	20,18	21,35	22,71	23,85
50-100	63,51	69,49	73,14	76,62
100-250	148,29	155,14	164,33	179,45
250-500	365,92	389,19	416,87	444,54
500-750	589,85	599,54	657,14	718,00
750-1000	815,60	864,12	921,66	984,30
1000-1250	1086,50	1174,79	1222,32	1312,17
1250-1600	1290,50	1391,12	1471,81	1562,50

Consumo

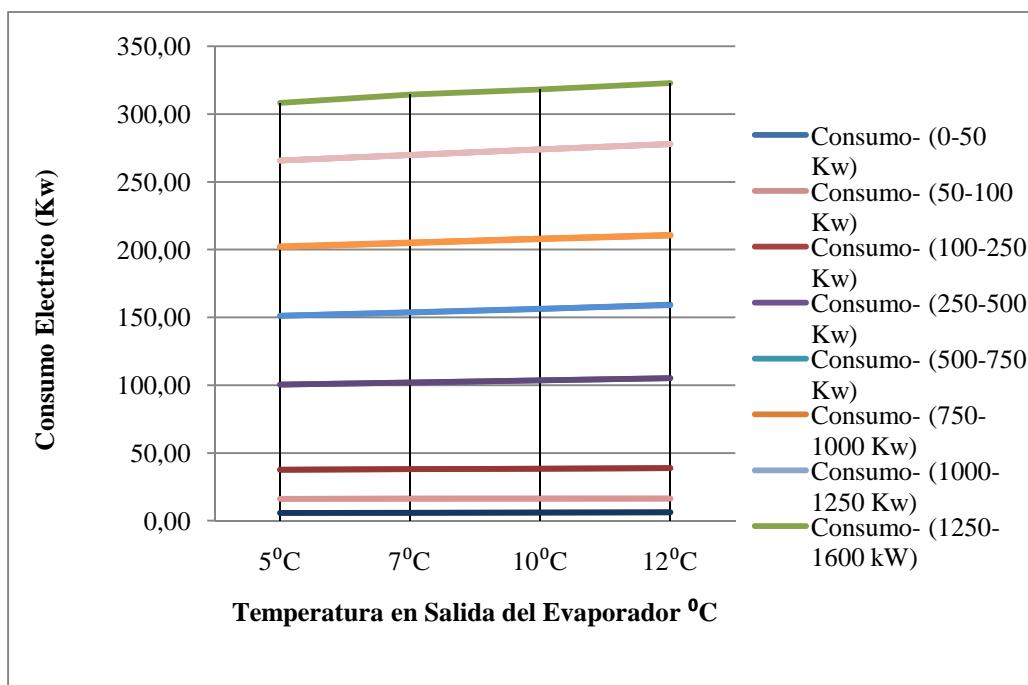


Figura 1.43. Variación del consumo de conjuntos de bombas de calor agrupadas por su potencia en función de la temperatura del agua a la salida del evaporador.

Rango de Potencias Calefacción (Kw)	Consumo eléctrico (Kw)			
	5°C	7°C	10°C	12°C
0-50	5,70	5,81	6,03	6,17
50-100	16,15	16,29	16,38	16,47
100-250	37,68	38,01	38,37	38,72
250-500	100,46	101,98	103,55	105,08
500-750	151,31	153,68	156,12	159,38
750-1000	202,00	205,17	208,23	210,50
1000-1250	265,67	269,68	274,11	277,83
1250-1600	308,25	314,34	318,11	323,00

1.7. Conclusiones.

1.7.1. Conclusiones del estudio acerca de las prestaciones de los equipos de bombas de calor y enfriadoras en el mercado. (1.5).

En la siguiente tabla se recogen los datos de las gráficas 1.21, 1.22, 1.23, 1.24.

		Alternativo Hermético	Scroll	Screw
AIRE	Potencia(kW)	<100	<450	300-1600
	COP	2.25~3	2.25~3	3~3.5
	EER	2~2.5	2~3	2.25~3.25
AGUA	Potencia(kW)	<150	<500	300-1600
	COP	3.25~4.25	3.5~4.5	3.5~5
	EER	3~3.5	3~4.75	3.25~5.25
Aplicación		Uso Doméstico (en extinción)	Oficinas, sector terciario	Uso Industrial

Figura 1.25. Cuadro resumen de los datos recogidos en las gráficas 1.21, 1.22, 1.23, 1.24.

- Una de las conclusiones que se sacan de las gráficas, es que generalmente conforme mayor potencia suministren los equipos mayor rendimiento tienen éstos; es decir, tendrá mayor rendimiento una instalación al poner un equipo de mayor potencia que dos o más de potencia menor.
- La fabricación de bombas de calor o enfriadoras con compresor Semihermético alternativo se ha extinguido dado que los rendimientos, que se alcanzaban con estas tipologías, se han visto superados por los equipos que utilizan compresor tipo scroll y tipo tornillo. Por tanto éstos últimos actúan de equipos sustitutivos de los equipos con compresor semihermético alternativo.
- Una de las conclusiones más evidentes es que, generalmente, el rendimiento en los equipos de condensación por agua es mayor que el rendimiento de condensación del aire. Esto es debido principalmente a que la temperatura del agua es menor ($\sim 15^{\circ}\text{C}$) que la del aire ($\sim 35^{\circ}\text{C}$) con lo que los equipos que condensan con agua necesitan menos salto de Temperaturas que los que condensan con aire, y por tanto consumen menos potencia, lo que implica que con los equipos que condensan con agua tengan mejores rendimientos que los de aire.

- No solo los rendimientos de los equipos que condensan por agua son mejores por tener temperaturas menores y más estables que los de condensan por aire, sino también influye en un aumento de consumo por parte de la maquina que condensa por aire, el hecho de que el volumen de un gas es mayor en los saltos de presión. Es decir, los consumos en función del caudal suministrado son menores al transportar agua que al transportar aire.
- Potencias y rendimientos: Alternativo < Scroll < Screw. Los compresores alternativos abarcan las potencias menores seguidos de los Scroll, sin embargo para grandes potencias sobretodo en aplicaciones industriales, los compresores tornillo o Screw son los más utilizados. En general los compresores alternativos son los que menos rendimiento dan, seguidos por los Scroll y los de tipo tornillo o Screw, donde estos últimos, como se ve en las gráficas, dan mayores rendimientos que el resto de compresores.

1.7.2. Conclusiones del estudio acerca de la influencia de las condiciones climatológicas ambientales en la eficiencia de la bomba de calor y equipos enfriadores. (1.6)

En equipos con agua como foco externo, se alcanzan mayores rendimientos en general que en los equipos con aire.

En la figura 1.44 se recogen los datos conclusivos para las dos tipologías de equipos a las temperaturas siguientes:

Para Aire: Temperaturas de 35°C como mínima y de 40°C como máxima en el aire como foco exterior en refrigeración y de 5°C y 10°C para calefacción.

Para Agua: Las mismas temperaturas, pero la temperatura que se toma para el foco exterior es a la salida del condensador en refrigeración y a la salida del evaporador en calefacción.

Temperatura °C en el foco exterior	EER(Aire) - EER (Agua)		COP (Aire) - COP (Agua)	
	35°C	40°C	5°C	10°C
Aire	2,3 - 3	2 - 2,7	2,3 - 2,8	2,7 - 3,1
Agua	3,7 - 4,9	3,3 - 4,25	3,55 - 4,2	3,75 - 4,65

Figura 1.44. Cuadro resumen. Influencia de la temperatura del foco externo en la eficiencia de una bomba de calor y enfriadora.

Se observa claramente que las bombas de calor y enfriadoras que utilizan agua como foco exterior, alcanzan rendimientos muy superiores a los equipos que utilizan aire para las temperaturas seleccionadas.

CAPITULO 2

Rendimiento estacional en equipos de bomba de calor. **SPF (*Seasonal performance factor*)**

2.1. Introducción

Como se ha explicado en el capítulo 1 el coeficiente de prestación estacional, es un factor que informa del rendimiento del equipo de bomba de calor o unidad enfriadora. Existen otros tipos de coeficientes de prestación, no obstante el SPF es el que más se aproxima a la realidad de la eficiencia que tiene el equipo.

Así pues y como refleja la *NORMA EN-14825*, es la relación entre la energía total anual Q_{hp} suministrada por la bomba de calor al subsistema de distribución para la calefacción y, u otros sistemas adjuntos (por ejemplo, agua caliente sanitaria) y el consumo total anual de energía eléctrica consumida incluyendo el consumo total anual de energía auxiliar.

Para poder distinguir entre el SPF de refrigeración y de calefacción se utilizan dos coeficientes diferentes:

Así pues se utilizará SEER (*Coeficiente de eficiencia frigorífica estacional, Seasonal Energy efficiency ratio*) para hacer referencia a la eficiencia estacional en modo refrigeración.

De la misma forma se utilizará SCOP (*Coeficiente de prestación estacional, Seasonal coefficient of performance*) para referirse a la eficiencia estacional en modo calefacción.

Existen diferentes métodos de cálculo para dicho coeficiente:

Método Experimental: El cálculo del SPF mediante el método experimental, no es más que la toma de datos periódica de datos de nuestro equipo y durante cada estación y realizar el correspondiente cálculo.

Método Aproximado: Los fundamentos de este método tienen lugar en la Norma EN-14825 y en los apartados siguientes de este capítulo se desarrollará este proceso.

2.2. Normas

La Norma EN-14825 detalla un proceso de cálculo aproximado para obtener tanto el SCOP como el SEER.

Para realizar el cálculo del COP medio estacional se propone la siguiente formula sacada de la *NORMA UNE-EN_14825:2008*:

2.2.1. SCOP de referencia (COP estacional)

$$SCOP_{on} = \frac{1}{\frac{A}{COP_A} + \frac{B}{COP_B} + \frac{C}{COP_C} + \frac{D}{COP_D}}$$

A, B, C, D: Hacen referencia a factores de ponderación, los cuales indican en la siguiente tabla el porcentaje de utilización al año del equipo a ese índice de carga parcial.

COP a, b, c, d: Coeficiente de prestación para las diferentes condiciones de temperaturas determinadas.

Los coeficientes de ponderación son definidos para evaluar la eficacia frigorífica temporal de un tipo de equipo para un perfil climático europeo medio y una carga térmica promedio del edificio representativo aplicaciones residenciales, comerciales y terciarias.

	Indice de carga parcial %	Factor de ponderación
A	100%	50%
B	55%	22%
C	155%	24%
D	20%	4%

Según la tipología de la bomba de calor se utilizará una tabla u otra de los siguientes apartados.

Unidades aire-aire

Condiciones de temperatura para el cálculo de COP

Las condiciones de temperatura para determinar los cuatro COP usados en la formula general se toman de las siguientes tablas:

SCOP_{on} Unidades Aire-aire

	Indice de Carga parcial %	Temperatura exterior bulbo seco (Temperatura bulbo húmedo) (°C)	Temperatura interior bulbo seco (°C)
A	100%	2(1)	20
B	55%	7(6)	20
C	155%	-7(-8)	20
D	20%	12(11)	20

Cuando la temperatura exterior es más baja que la temperatura de corte, la unidad trabajara a su máxima índice de carga parcial %; en algunos casos esta máxima capacidad no satisface plenamente las necesidades y es necesaria una unidad calefactora eléctrica.

$X = Q(-7) / Q(2)$ (Estas expresiones se utilizan también para unidades aire-agua)

$Q(-7)$ es la capacidad calorífica que da el equipo a una temperatura exterior de -7(-8)°C

$Q(2)$ es la capacidad calorífica que da el equipo a una temperatura exterior de 2(1)°C

Si $X \geq 1,55$ entonces $COP_C = COP(-7)$

$$\text{Si } X < 1,55 \text{ entonces } COP_C = \frac{1,55}{\frac{X}{COP(-7)} + 1,55 - X}$$

Si $X=0$ entonces $COP_C = 1$

Unidades agua-aire

	Indice de carga parcial%	Outdoor heat exchanger		Indoor heat exchanger
		Agua en el suelo	Agua mar	Aire interior
		Inlet / outlet temperatures (°C)	Inlet / outlet temperatures (°C)	Inlet dry bulb temperature (°C)
A	100%	15 / 12	0 / -3	20 °C
B	55%	15 / *	0 / *	20 °C
C	155%	15 / *	0 / *	20 °C
D	20%	15 / *	0 / *	20 °C

Unidades aire-agua

Suelo radiante

Indice de carga parcial %	Outdoor heat exchanger	Indoor heat exchanger		
		Outdoor air	Floor heating application Fixed water outlet temperature	Floor heating application Variable water outlet temperature
		Inlet dry bulb (wet bulb) temperature (°C)	Inlet / outlet temperatures (°C)	Inlet / outlet temperatures (°C)
A	100%	2(1)	* / 35	* / 30
B	55%	7(6)	* / 35	* / 27
C	155%	-7(-8)	* / 35	* / 35
D	20%	12(11)	* / 35	* / 24

(*)Los indices de flujo de agua seran determinados como en las condiciones standard de la norma EN 14511-2.

Fancoils

Indice de carga parcial %	Outdoor heat exchanger	Indoor heat exchanger		
		Outdoor air	Fan coil application fixed water outlet temperature	Fan coil application Variable water outlet temperature
		Inlet dry bulb (wet bulb) temperature (°C)	Inlet / outlet temperatures (°C)	Inlet / outlet temperatures (°C)
A	100%	2(1)	* / 45	* / 40
B	55%	7(6)	* / 45	* / 37
C	155%	-7(-8)	* / 45	* / 45
D	20%	12(11)	* / 45	* / 34

Radiadores

Indice de carga parcial %	Outdoor heat exchanger	Indoor heat exchanger	
		Hot water radiators application fixed water outlet temperature	Hot water radiators application variable water outlet temperature
		Inlet / outlet temperatures (°C)	Inlet / outlet temperatures (°C)
A	100%	2(1)	* / 55
B	55%	7(6)	* / 55
C	155%	-7(-8)	* / 55
D	20%	12(11)	* / 55

Unidades Agua-agua

Suelo radiante

Indice de carga parcial %	Outdoor heat exchanger		Indoor heat exchanger	
	Ground Water	Brine	Floor heating application fixed water outlet temperature	Floor heating application variable water outlet temperature
	Inlet / outlet temperatures (°C)	Inlet / outlet temperatures (°C)	Inlet / outlet temperatures (°C)	Inlet / outlet temperatures (°C)
A	100%	15 / 12	0/-3	**/35
B	55%	15 / *	0 / *	**/35
C	155%	15 / *	0 / *	** / 35
D	20%	15 / *	0 / *	** / 35

(*) with the water flow rate as determined during "A" test

(**) with the water flow rate as determined at the standard rating conditions of EN 14511-2

Fancoils

Indice de carga parcial %	Outdoor heat exchanger		Indoor heat exchanger		
	Ground Water	Brine	Fan coil application – fixed water outlet temperature	Fan coil application – variable water outlet temperature	
	Inlet / outlet temperatures (°C)	Inlet / outlet temperatures (°C)	Inlet / outlet temperatures (°C)	Inlet / outlet temperatures (°C)	
A	100%	15 / 12	0/-3	** / 45	** / 40
B	55%	15 / *	0 / *	**/ 45	**/37
C	155%	15 / *	0 / *	** / 45	**/45
D	20%	15 / *	0 / *	** / 45	**/34

(*) with the water flow rate as determined during "A" test

(**) with the water flow rate as determined at the standard rating conditions of EN 14511-2

Radiadores

Indice de carga parcial %	Outdoor heat exchanger		Indoor heat exchanger		
	Ground Water	Brine	Hot water radiators application	Hot water radiators application variable water outlet temperature	
	Inlet / outlet temperatures (°C)				
A	100%	15 / 12	0/-3	** / 55	**/50
B	55%	15 / *	0 / *	** / 55	**/47
C	155%	15 / *	0 / *	** / 55	**/55
D	20%	15 / *	0 / *	** / 55	**/44

(*)The water flow rate as determined at the standard rating conditions of EN 14511-2 shall be used.

(**)The water flow rate as determined at the standard rating conditions of EN 14511-2 with a water inlet/outlet temperatures of 40-45 °C shall be used.

2.2.2. SEER de referencia (EER estacional)

Del mismo modo que calculamos el COP estacional se calcula el EER estacional, pero con distintas tablas en función de las condiciones externas.

$$SEER_{on} = \frac{1}{\frac{A}{EER_A} + \frac{B}{EER_B} + \frac{C}{EER_C} + \frac{D}{EER_D}}$$

A, B, C, D: Hacen referencia a factores de ponderación, los cuales indican en la siguiente tabla el porcentaje de utilización al año del equipo a esa capacidad.

EER_A , EER_B , EER_C y EER_D son los valores de EER determinados para las correspondientes capacidades en las condiciones de temperatura definidas.

	Indice de carga parcial %	Factor ponderación
A	100%	4%
B	75%	26%
C	50%	40%
D	25%	30%

Unidades Aire-aire

	Indice de carga parcial %	Outdoor air dry bulb temperature (°C)	Indoor air dry bulb (wet bulb) temperatures (°C)
A	100%	35	27(19)
B	75%	30	27(19)
C	50%	25	27(19)
D	25%	20	27(19)

Unidades Agua-aire

	Indice de carga parcial %	Outdoor heat exchanger		Indoor heat exchanger
		Cooling tower or water loop application Inlet / outlet water temperatures (°C)	Ground water application Inlet / outlet water temperatures (°C)	Air dry bulb (wet bulb) temperatures (°C)
A	100%	30 / 35	15 / 20	27(19)
B	75%	26 / *	15 / *	27(19)
C	50%	22 / *	15 / *	27(19)
D	25%	18 / *	15 / *	27(19)

Unidades Aire-agua

	Indice de carga parcial %	Outdoor heat exchanger	Indoor heat exchanger	
		air dry bulb temperature (°C)	Fan coil application Inlet / outlet water temperatures (°C)	Cooling floor application Inlet / outlet water temperatures (°C)
A	100%	35	12 / 7	23 / 18
B	75%	30	* / 7	* / 18
C	50%	25	* / 7	* / 18
D	25%	20	* / 7	* / 18

Unidades Agua-agua

Torre refrigeración y suelo- Fancoils y Suelo radiante

Indice de carga parcial %	Outdoor heat exchanger		Indoor heat exchanger	
	Cooling tower application Inlet / outlet water temperatures (°C)	Ground water application Inlet / outlet water temperatures (°C)	Fan coil application Inlet / outlet water temperatures (°C)	Cooling floor application Inlet / outlet water temperatures (°C)
A	100%	30 / 35	15 / 20	12 / 7
B	75%	26 / *	15 / *	* / 7
C	50%	22 / *	15 / *	* / 7
D	25%	18 / *	15 / *	* / 7

Mar- Fancoils y Suelo radiante

Indice de carga parcial %	Outdoor heat exchanger		Indoor heat exchanger	
	Inlet / outlet brine temperatures (°C)	Fan coil application Inlet / outlet water temperatures (°C)	Cooling floor application Inlet / outlet water temperatures (°C)	
A	100%	0 / -3	12 / 7	23 / 18
B	75%	0/*	* / 7	* / 18
C	50%	0/*	* / 7	* / 18
D	25%	0/*	* / 7	* / 18

2.2.3. Otros Perfiles calculados por la Norma EN-14825

La presente norma también proporciona una estimación de los coeficientes de ponderación y temperaturas equivalentes a carga parcial para otros perfiles climáticos, aparte del europeo que ya se ha revelado en los apartados anteriores del presente capítulo.

Para determinar el SEER / SCOP de una bomba calor reversible, conviene considerar el SEER igual al de un unidad equivalente que únicamente proporciona refrigeración y el SCOP como equivalente al de una bomba de calor que únicamente proporciona calefacción

Europa puede estar considerada como una región y puede estar dividida en cuatro zonas, como sigue:

Zona septentrional: Estonia, Finlandia, Islandia, Noruega y Suecia;

Zona central: Austria, Bulgaria, la República checa, Dinamarca, Alemania, Hungría, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Polonia, Rumania, Eslovaquia, Eslovenia y Suiza;

Zona meridional: Chipre, Grecia, Italia (en el sur de Roma), Malta y España (del sur);

Zona marítima: Bélgica, Francia, Irlanda, Italia (en el norte de Roma), Países Bajos, España (del norte) y el Reino Unido.

Los coeficientes de ponderación y las temperaturas a carga parcial son dados más abajo para Europa y las cuatro diferentes zonas para el cálculo del SEER de un acondicionador de aire a condensación por aire.

SEER para unidades aire-aire para Europa

SEER (Perfil climático medio europeo)		
Indice de Carga Parcial %	Temperaturas °C	Coeficientes de Ponderación
100	35	3 %
75	30	33 %
50	25	41 %
25	20	23 %

SEER para unidades aire-aire por zona climática

a) SEER – Área SUR			b) SEER – Área MARITIMA		
Indice de Carga Parcial %	Temperaturas °C	Coeficientes de Ponderación	Indice de Carga Parcial %	Temperaturas °C	Coeficientes de Ponderación
100	35	14%	100	30	13%
75	30	40%	75	26	27%
50	25	33%	50	23	35%
25	20	13%	25	18	25%

c) SEER – Area CENTRAL		
Indice de Carga Parcial %	Temperaturas °C	Coeficientes de Ponderación
100	30	1%
75	26	20%
50	22	47%
25	17	32%

d) SEER – Area NORTE		
Indice de Carga Parcial %	Temperaturas °C	Coeficientes de Ponderación
100	26	2%
75	23	20%
50	20	46%
25	16	32%

Los coeficientes de ponderación y las temperaturas a carga parcial son dados más abajo para Europa y las cuatro diferentes zonas para el cálculo del SCOP de un acondicionador de aire a condensación por aire.

SCOP para unidades aire/aire para Europa

SCOP		
Temperaturas °C	Índice de Carga Parcial %	Coeficientes de ponderación
-7	155	24%
2	100	50%
7	55	22%
12	20	4%

SCOP para unidades aire/aire por zona climática

a) SCOP – Area SUR		
Temperaturas °C	Indice de Carga Parcial %	Coeficientes de ponderación
-2	140	9%
2	100	34%
7	60	42%
12	35	15%

b) SCOP – Area MARITIMA		
Temperaturas °C	Indice de Carga Parcial %	Coeficientes de ponderación
-7	120	7%
-2	100	29%
2	75	39%
7	50	25%

c) SCOP – Area CENTRAL		
Temperaturas °C	Indice de Carga Parcial %	Coeficientes de ponderación
-12	130	46%
-7	100	43%
-2	80	10%
7	55	1%

d) SCOP – Area NORTE		
Temperaturas °C	Indice de Carga Parcial %	Coeficientes de ponderación
-12	100	24%
-7	80	23%
-2	60	27%
2	40	26%

2.3. Ejemplo Calculo SPF

Ejemplo calculo SCOP (COP estacional)

Aplicación de una bomba a calor aire / agua utilizada para suelo radiante.

Potencia a la temperatura de dimensionamiento (2°C) 10,9 kW (Condición A)

Potencia a temperatura baja (-7°C) 8,77 kW

Los índices de carga parcial y las condiciones para un intercambiador térmico exterior y un intercambiador térmico interior pueden ser determinados a partir de la Tabla correspondiente a suelo radiante para bomba aire/agua en el apartado anterior.

La potencia en las condiciones B, C y D es determinada multiplicando la potencia en la condición A por el índice de carga parcial para la condición dada.

El consumo es el del equipo a la temperatura de aire exterior que se indica y multiplicado por el índice de carga parcial correspondiente.

Para hallar el COP de C se procede del siguiente modo:

	Evaporador	Condensador	Índice de carga parcial	Capacidad calorífica	Consumo	COP	Factores de ponderación
	Aire Exterior °C	Salida Agua °C					
A	2	35	100%	10,90	3,45	3,16	50%
B	7	35	55%	6,00	1,26	4,76	22%
C	-7	35	155%	16,90	11,77	1.44	24%
		Capacidad Calorífica	Bomba Calor	8,77	3,64	2,41	
		Capacidad eléctrica	Calentador	8,13	8,13	1,00	
D	12	35	20%	2,18	0,44	4,95	4%

Q (-7) capacidad calorífica del equipo a baja temperatura 8.77 kW

Q (2) capacidad calorífica del equipo a temperatura de dimensionamiento 10.90 kW

$$X = Q(-7)/Q(2), X = 8,77/10,90 \quad X = 0,8$$

0.8 < 1.55

$$COP_c = 1,55/(X/cop(-7) + 1,55-X)$$

$$COP_c = 1,55/(0,8/2,41 + 1,55 - 0,8)$$

$$COP_c = **1,44**$$

$$SCOP_{on} = 1 / (0,5/3,16 + 0,22/4,76 + 0,24/1,44 + 0,04/4,95)$$

$$SCOP_{on} = **2,63**$$

Calculo de SEER_{on}

Cálculos similares a los anteriores pueden ser usados para determinar el SEER usando tablas y formulas definidas en el apartado anterior.

2.4. Aplicación de la directiva 2009/28/CE – PANER 2010-2020.

El SPF o coeficiente de prestación estacional, dada su representatividad de la eficiencia real del equipo, enseguida tuvo utilidad como herramienta en las normas y directivas europeas.

En la directiva 2009/28/CE se detalla lo siguiente referido a la bomba de calor y las energías renovables:

Balance energético de las bombas de calor

La cantidad de energía aerotérmica, geotérmica o hidrotérmica capturada por bombas de calor que debe considerarse energía procedente de fuentes renovables a los efectos de la presente Directiva, *ERES*, se calculará de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$ERES = Qusable * (1 - 1/SPF),$$

Siendo,

Qusable : el calor útil total estimado proporcionado por bombas de calor conformes a los criterios mencionados en el artículo 5, apartado 4, aplicada como sigue: solo se tendrán en cuenta las bombas de calor para las que

$$SPF > 1.15 * 1/\eta,$$

SPF : el factor de rendimiento medio estacional estimativo para dichas bombas de calor.

η : el cociente entre la producción total bruta de electricidad y el consumo primario de energía para la producción de electricidad, y se calculará como una media de la UE basada en datos de Eurostat.

Esta información es válida en caso de que el equipo supere las expectativas ya que de esta manera se estará ayudando al PANER 2010-2020.

Los objetivos del PANER 2010-2020 (Plan de Acción Nacional de Energías Renovables), para 2020, es aumentar en un 90% los datos registrados para 2010 referentes a cuotas de energía procedente de recursos renovables para bomba de calor aerotérmica. En otras magnitudes, se estaría hablando de que habría que aumentar para 2020 al menos 4,9 ktep, lo que es lo mismo, 57 000 MWh.

Por tanto el tener un equipo que proporcione valores altos de SPF estará colaborando con el PANER 2010-2020. Es clara la importancia del SPF tras la aplicación a dicha directiva.

2.5. Conclusiones.

La Directiva 2009/28/CE establece en su ANEXO VII, que las bombas de calor con un SPF por encima de un límite establecido por el cociente entre la producción total bruta de electricidad y el consumo primario de energía para la producción de electricidad (Calculado como una media de la UE basada en datos de Eurostat). Trascendiendo los conocimientos que han resultado del análisis y estudios realizados, se puede ampliar la información hacia lo propuesto en el anexo de la correspondiente directiva puntualizando que, calculando el cociente entre la producción total bruta de electricidad y el consumo primario de energía para la producción de electricidad como una media de la UE, se obtiene un dato virtual para Europa. No obstante, no todos los cocientes de producción energética son iguales en cada país.

Por tanto, para una discriminación en la aplicación de esta directiva, países de diferentes rendimientos de producción energética, podrían considerar valores de SPF (rendimiento estacional) diferentes, aun tratándose del mismo equipo de bomba de calor. Visto esto, aquellos países que tengan mayor rendimiento en la producción energética, menor será el límite de SPF para considerar que la energía que se utiliza proviene de fuente renovable.

Esta medida tomada, beneficia a España dado que su rendimiento en producción energética es más bajo que el de la media de los países Europeos y al aprobarse esta directiva, España es considerada con el rendimiento de producción energética medio europeo.

Dado que los objetivos del PANER 2010-2020 (Plan de Acción Nacional de Energías Renovables), para 2020, es aumentar en un 90% los datos registrados para 2010 al utilizar sistema Bomba de Calor de SPF alto, según la Directiva 2009/28/CE que establece que las bombas de calor de SPF alto se puede considerar su consumo proveniente de fuente renovable, se está colaborando con el PANER 2010-2020.

CAPITULO 3

Comparativa de la eficiencia de un sistema de bomba de calor frente a otro de enfriadora y caldera.

3.1. Objetivos.

El objetivo marcado para la realización de este estudio es determinar qué sistema de climatización es más eficiente para un local y clima determinado.

Para ello se ha propuesto comparar, las siguientes alternativas como sistemas de climatización:

Bomba de Calor

Enfriadora Aire/Agua + Caldera

Para comparar dichas alternativas se utilizará una metodología novedosa en la que compararemos:

COP diario medio

COP estacional (Norma EN 14825) {tomando el perfil climático medio europeo}

El local elegido se encuentra en Teruel (Zona D2). Dicho local está destinado a un uso horario análogo al de unas oficinas, con horario de apertura desde las 8:00-9:00 y con horario de cierre en torno a las 21:00. No obstante también se procederá a realizar el estudio para un local con un uso de 24 horas.

3.2. Etapas del estudio

En este apartado se expone un índice en etapas acerca del procedimiento que se ha seguido para realizar el estudio.

- I. Planificación del estudio
- II. Reunir los datos del edificio referentes a su uso, localización, demanda total, caudales de ventilación.
- III. Recopilación de datos climáticos de la localización del edificio.
- IV. Estimación de la Demanda Térmica cada hora en el edificio.
- V. Realizar un análisis de selección de Bomba de Calor
- VI. Elegir el equipo enfriador y la Caldera
- VII. Calcular COP/EER estacional de Bomba de Calor y Enfriadora
- VIII. Calcular COP/EER diario de Bomba de Calor y Enfriadora
- IX. Análisis Económico de las alternativas
- X. Resultados
- XI. Conclusiones

3.3. Estudio de la eficiencia de la instalación de un sistema de bomba de calor frente a otro de enfriadora y caldera en un local de Teruel.

3.3.1. Datos del local en Teruel

	Temperatura mín/ máx diseño	Temperatura local interior (verano)	Temperatura local interior (invierno)
Datos Teruel	-7,2 /32,5 °C	27 °C	21 °C
Área Climatizar	1152,2 m ²	Temperatura agua (interior) : 7° C	

Diferencia Base	Zona	Uso Original	Horario uso
Oficina: +4	D2	Colegio	8:00-21:00 h
Local 24h: +2	D2		0:00-23:00 h

Datos del edificio y cargas térmicas globales (sin tener en cuenta los recuperadores) proporcionados por el trabajo de asignatura de David Lasala López

Verano	
Transmisión conducción-convección (W)	11484
Transmisión solar (W)	28811
Iluminación (W)	15636
Otras cargas (W)	20518
Ocupantes (W)	28208
Q sensible de ventilación (W)	44772
Q latente de ventilación (W)	
Q TOTAL (W)	149430
Q TOTAL (kW)	149
Q TOTAL (W/m ²)	130

Invierno		
Transmisión conducción-convección (W)	73098	
Q sensible de ventilación (W)	73969	
Q TOTAL (W)	147067	
Q TOTAL (kW)	147	
Q TOTAL (W/m ²)	128	

Total (kW)	Con Recuperadores	147
Total (kW)	Con Recuperadores	149

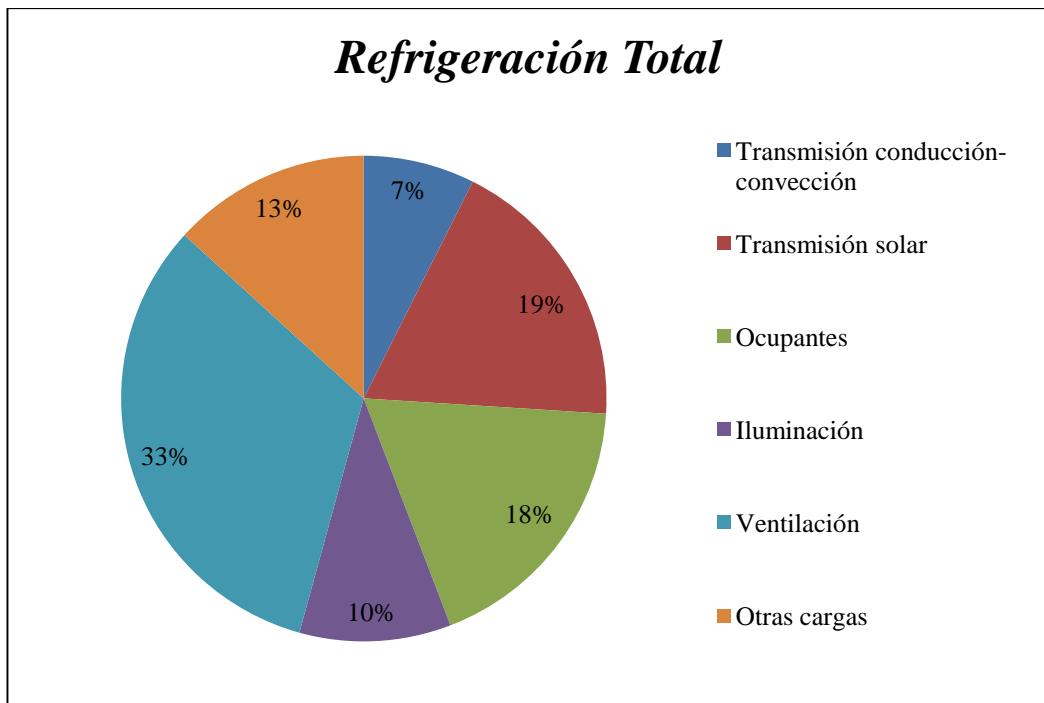


Figura 3.1. Distribución de cargas térmicas en refrigeración para el local

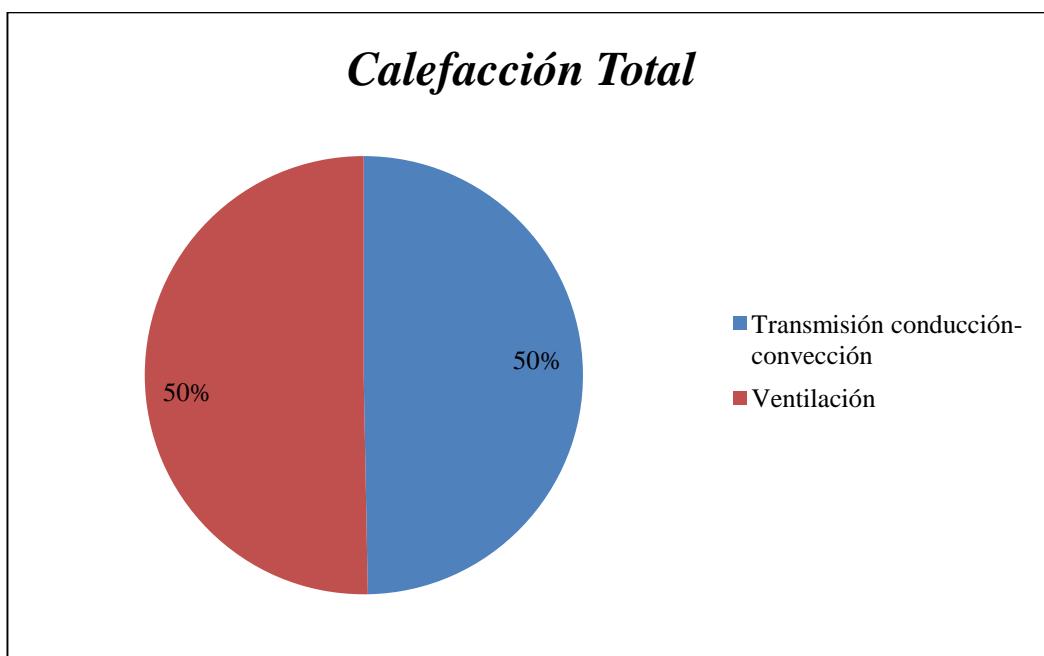


Figura 3.2. Distribución de cargas térmicas en calefacción para el local

Cabe decir que a las demandas mostradas tanto de calefacción como de refrigeración se les han restado a sus respectivas cargas de ventilación un % correspondiente a la instalación de recuperadores de calor.

3.3.2. Datos climáticos

3.3.2.1. Temperatura Teruel

El estudio de COP/EER medio diario se ha hecho en base a un día representativo de verano y otro día representativo de invierno. Para ello se debe obtener el COP/EER en función de la temperatura a cada hora en Teruel de dichos días representativos.

Para realizar el estudio de rendimiento horario ha sido imprescindible contactar con AEMET para que pudieran facilitar en favor del estudio datos horarios de temperatura.

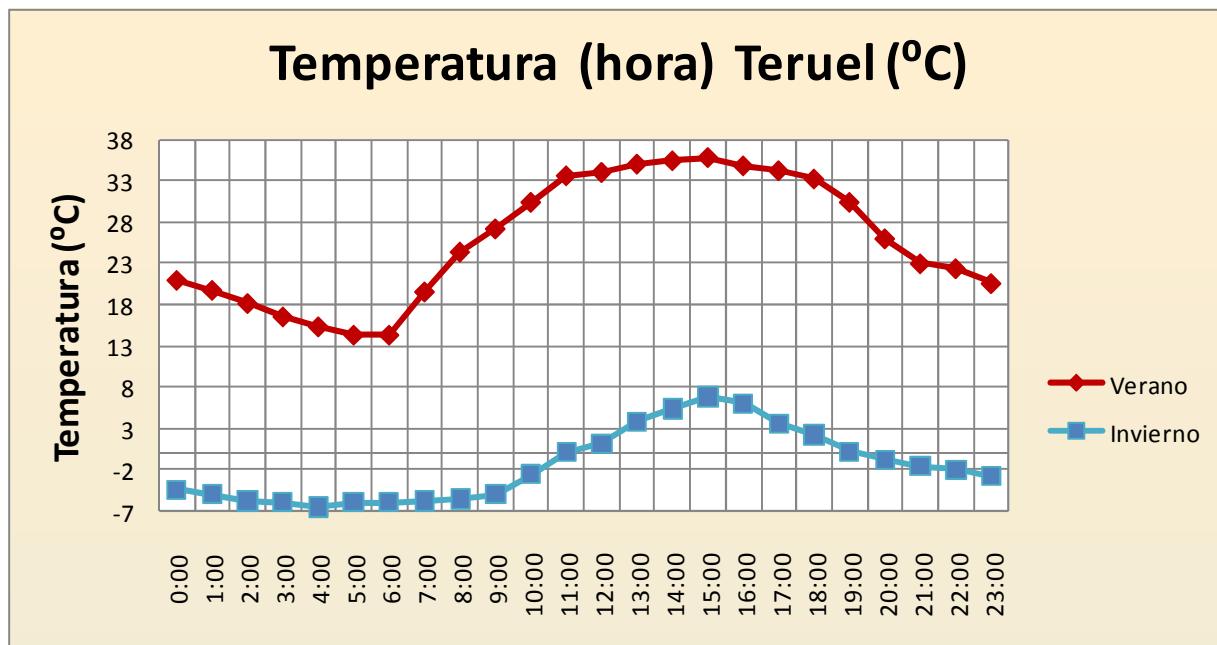


Figura 3.3. Temperatura horaria en Teruel para un día representativo de verano y otro de invierno

Verano	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00
Temp	21	19,8	18,2	16,6	15,4	14,4	14,4	19,6	24,4	27,2	30,4	33,6
°C	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
	34	35	35,4	35,8	34,8	34,2	33,2	30,4	26	23	22,4	20,6
Invierno	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00
Temp	-4,4	-5	-5,8	-6	-6,5	-6	-6	-5,8	-5,6	-5	-2,6	0,1
°C	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
	1,2	3,8	5,4	6,8	6	3,6	2,2	0,2	-0,8	-1,6	-2	-2,8

Temp: Temperatura en °C.

3.3.2.2. Humedad Relativa Teruel

Se han tomado los datos de la agencia estatal de meteorología española, al igual que se ha procedido con la temperatura de Teruel.

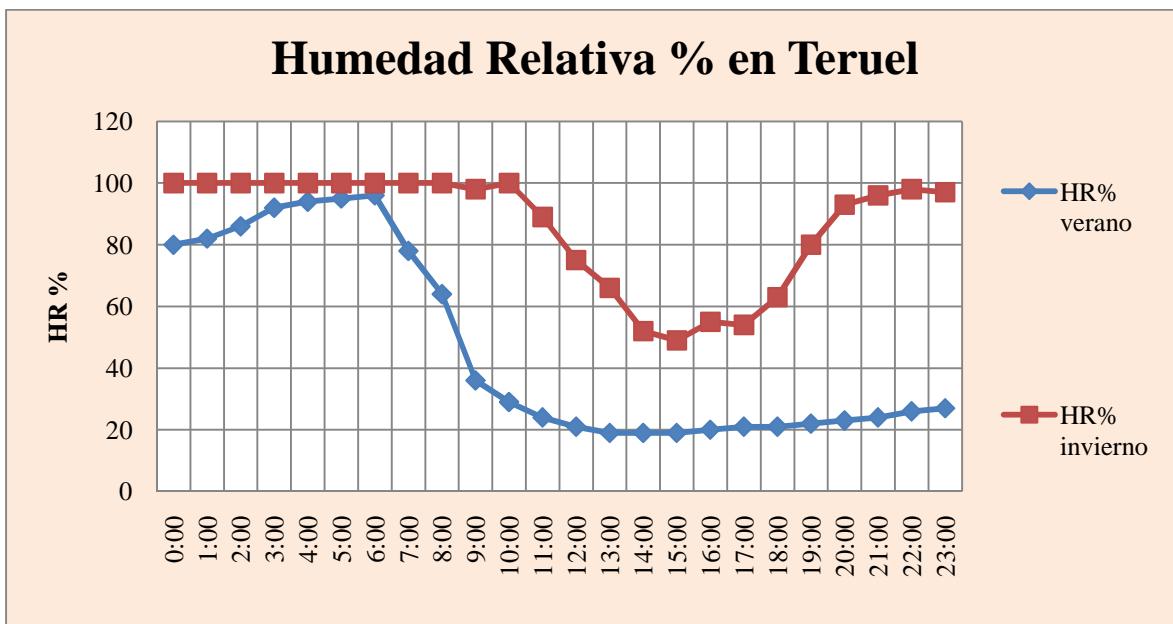


Figura 3.4. Variación de la humedad relativa % horaria para días representativos de invierno y verano en Teruel

HR% ext/int: Humedad relativa exterior

Text/int: Temperatura exterior /interior

Wext/int: Humedad específica exterior/interior

Verano	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00
HR%ext	80	82	86	92	94	95	96	78	64	36	29	24
T ext	21	19,8	18,2	16,6	15,4	14,4	14,4	19,6	24,4	27,2	30,4	33,6
Wext	0,012	0,011	0,011	0,011	0,010	0,010	0,011	0,0115	0,012	0,008	0,008	0,007
Temperatura interior 27°C	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
	21	19	19	19	20	21	21	22	23	24	26	27
	34	35	35,4	35,8	34,8	34,2	33,2	30,4	26	23	22,4	20,6
	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,006	0,005	0,004	0,004	0,004

3.3.3. Estimación de la demanda térmica horaria

3.3.3.1. Edificio con un uso análogo al de una oficina

La estimación de la demanda horaria del edificio se ha hecho en base a la demanda total modificando cada factor influyente en función de la hora del día y recalculando los apartados de transmisión por conducción convección y por radiación, además de la carga de ventilación. Las tablas correspondientes se encuentran en el Anexo A y Anexo B. En dicho anexo también se recoge los datos numéricos de la estimación de la demanda. La estimación de la demanda total se detalla en el Anexo D.

Las siguientes gráficas corresponden a la variación horaria de la estimación de la demanda en el local.

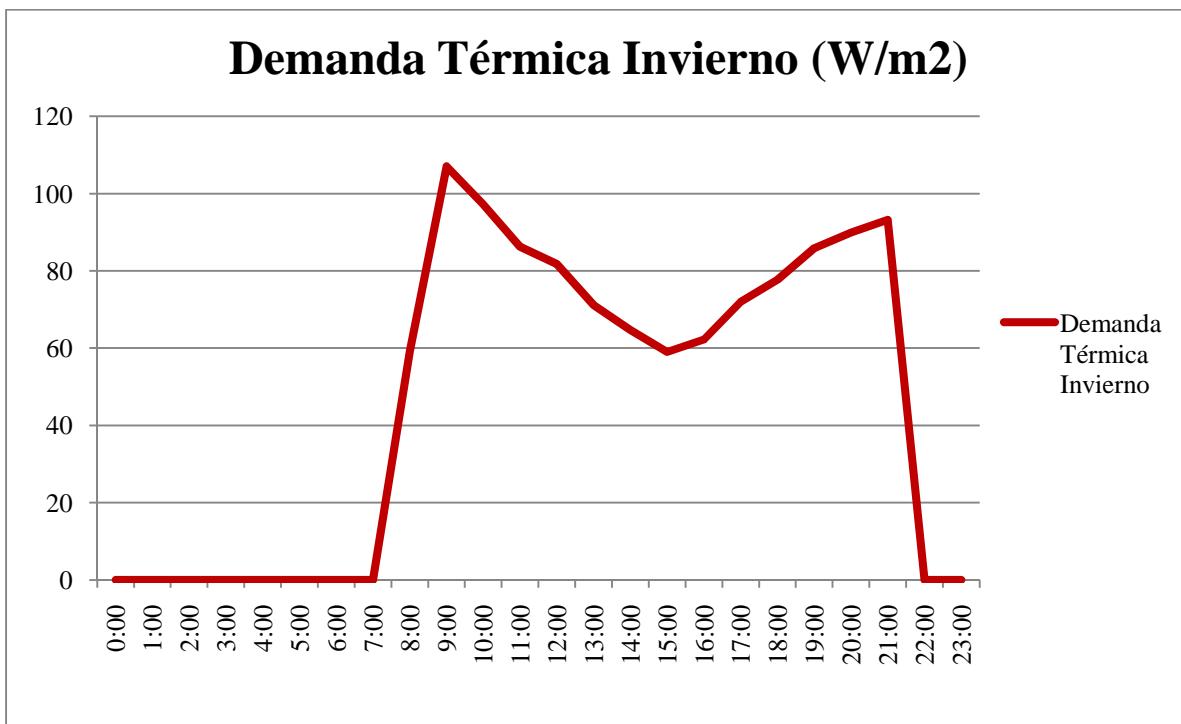


Figura 3.5. Variación de la demanda térmica horaria en el día representativo de invierno para el edificio con un uso análogo al de una oficina

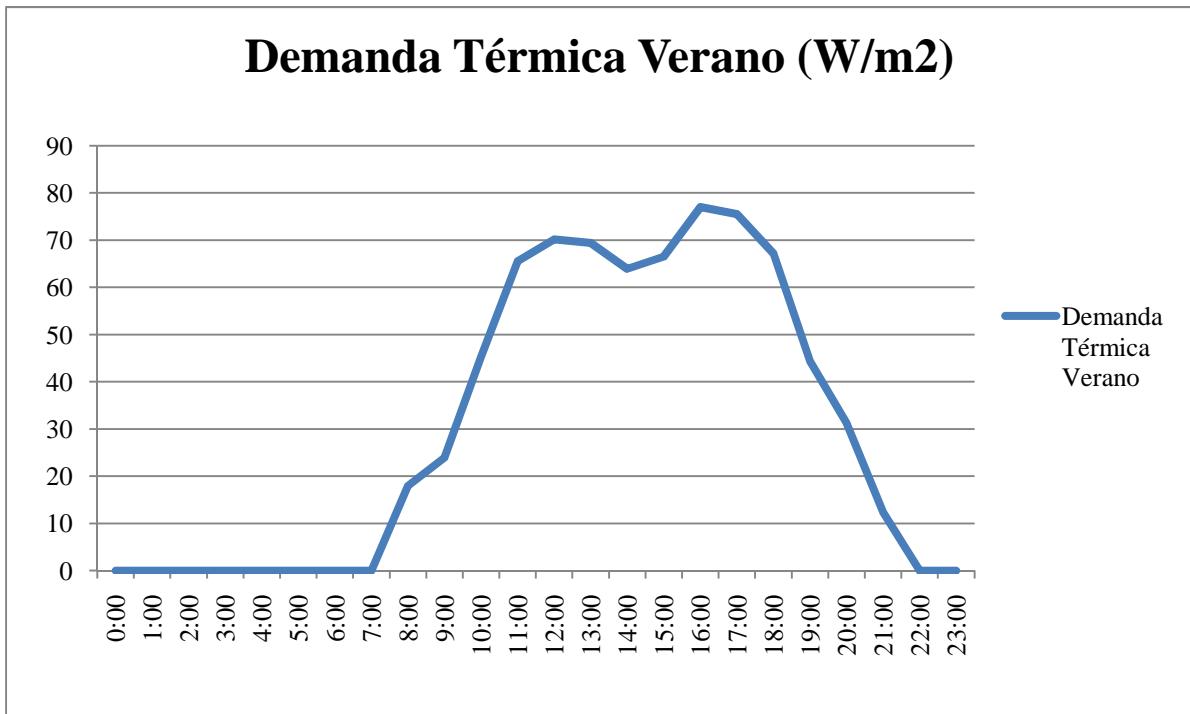


Figura 3.6. Variación de la demanda térmica horaria en el día representativo de verano para el edificio con un uso análogo al de una oficina

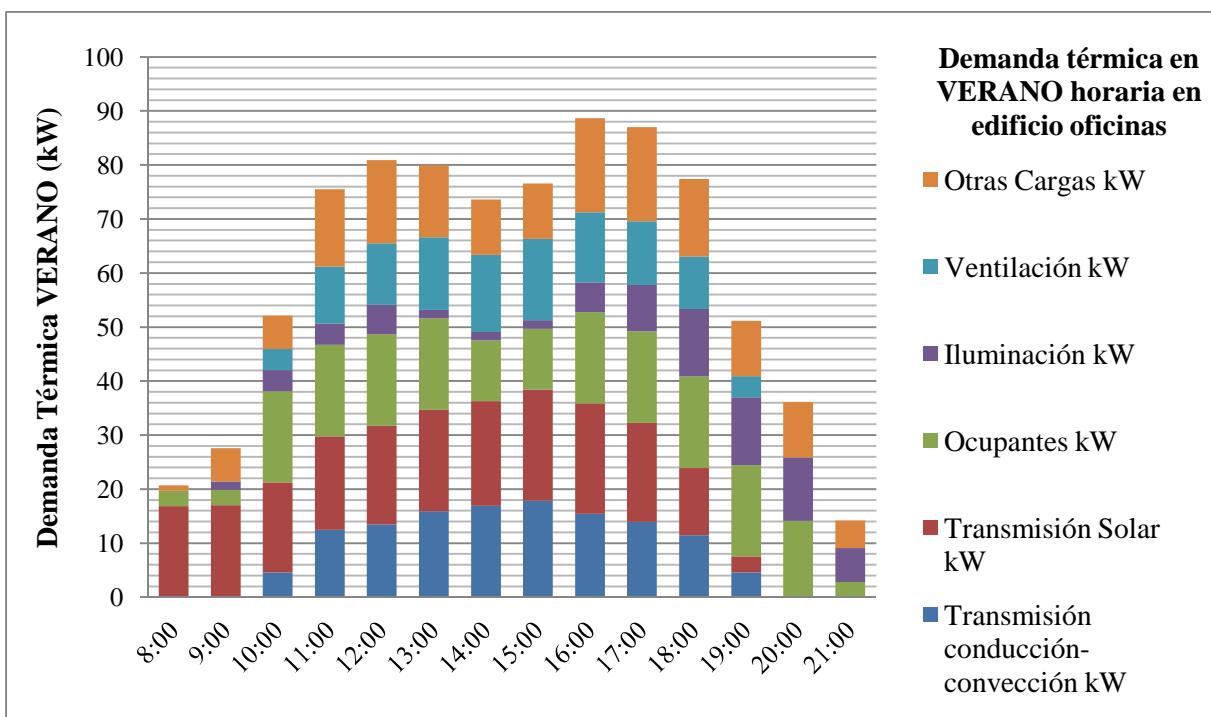


Figura 3.7. Distribución de la demanda térmica horaria en el día representativo de verano para el edificio con un uso análogo al de una oficina

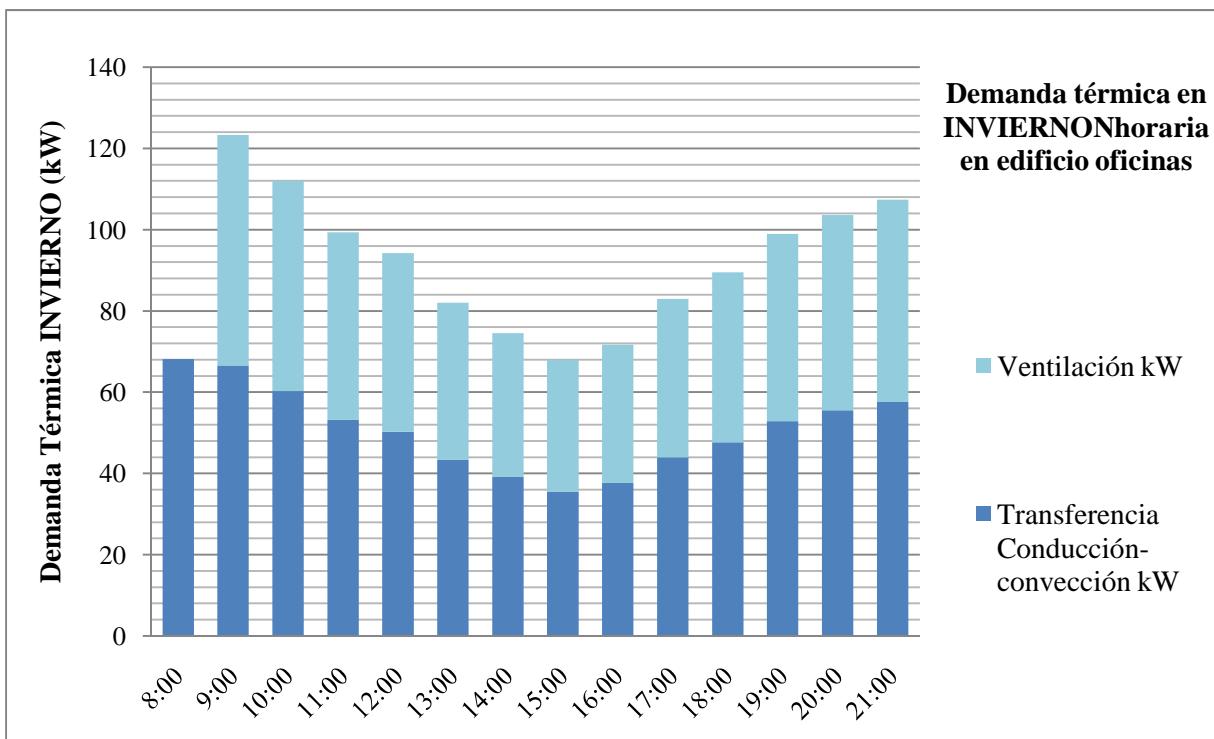


Figura 3.8. Distribución de la demanda térmica horaria en el día representativo de invierno para el edificio con un uso análogo al de una oficina

3.3.3.2. Edificio con un uso de 24 horas

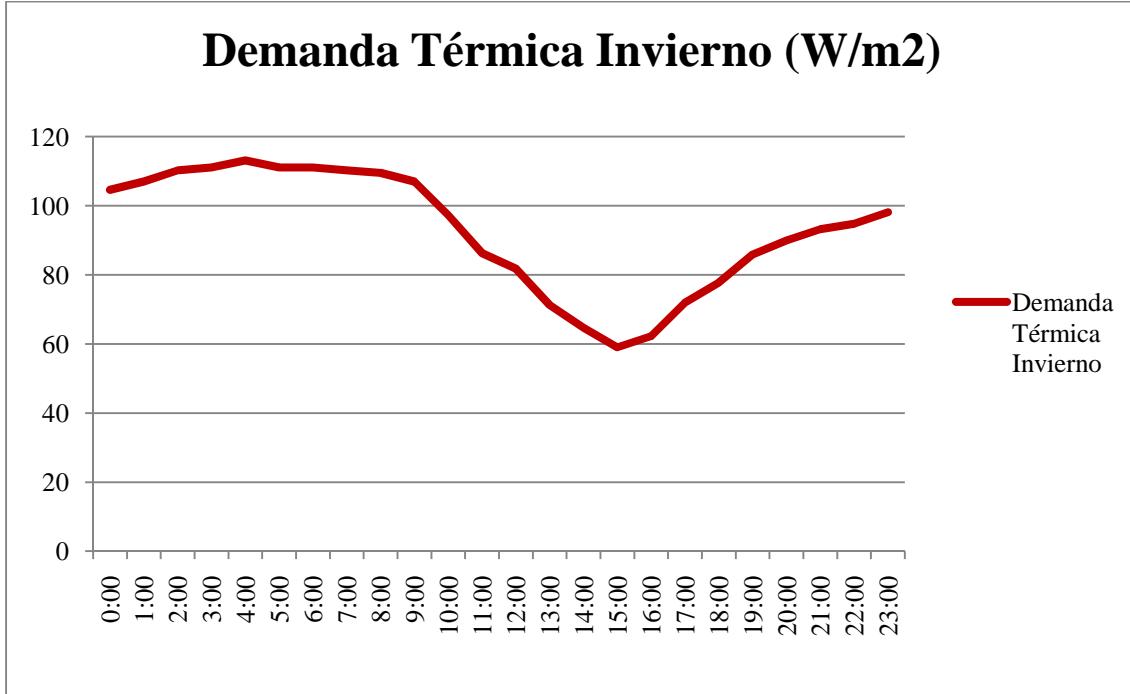


Figura 3.9. Variación de la demanda térmica horaria en el día representativo de invierno en el edificio 24 horas.

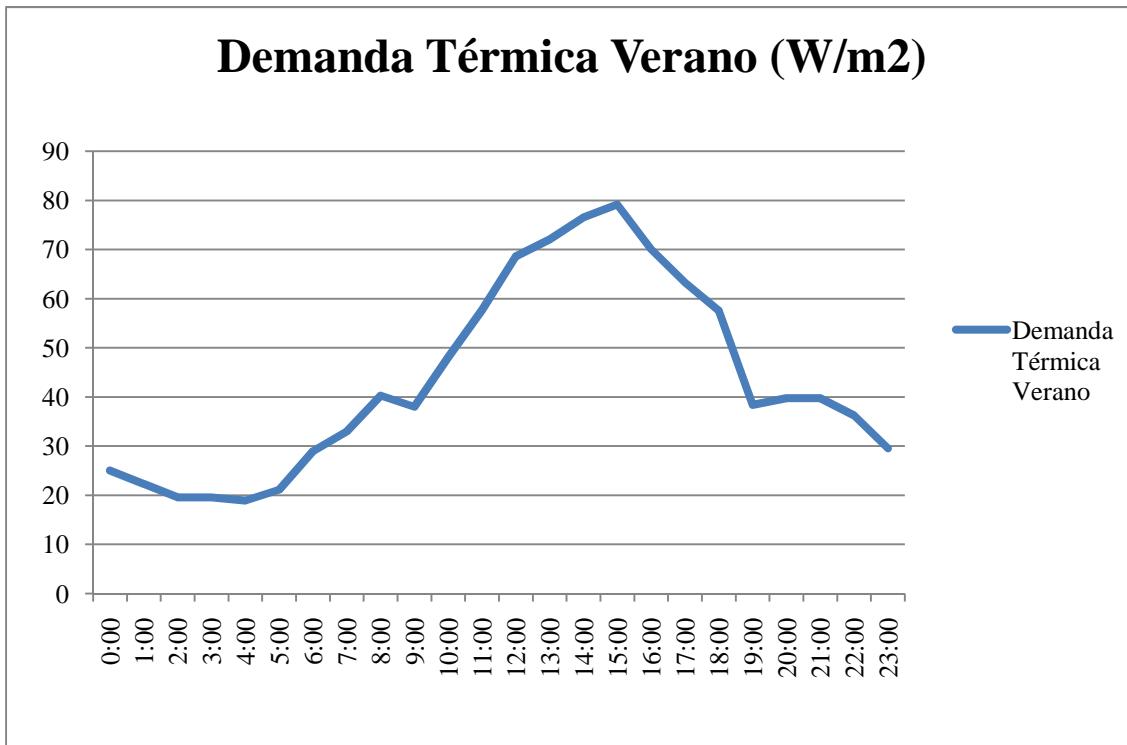


Figura 3.10. Variación de la demanda térmica horaria en el día representativo de verano en el edificio 24 horas.

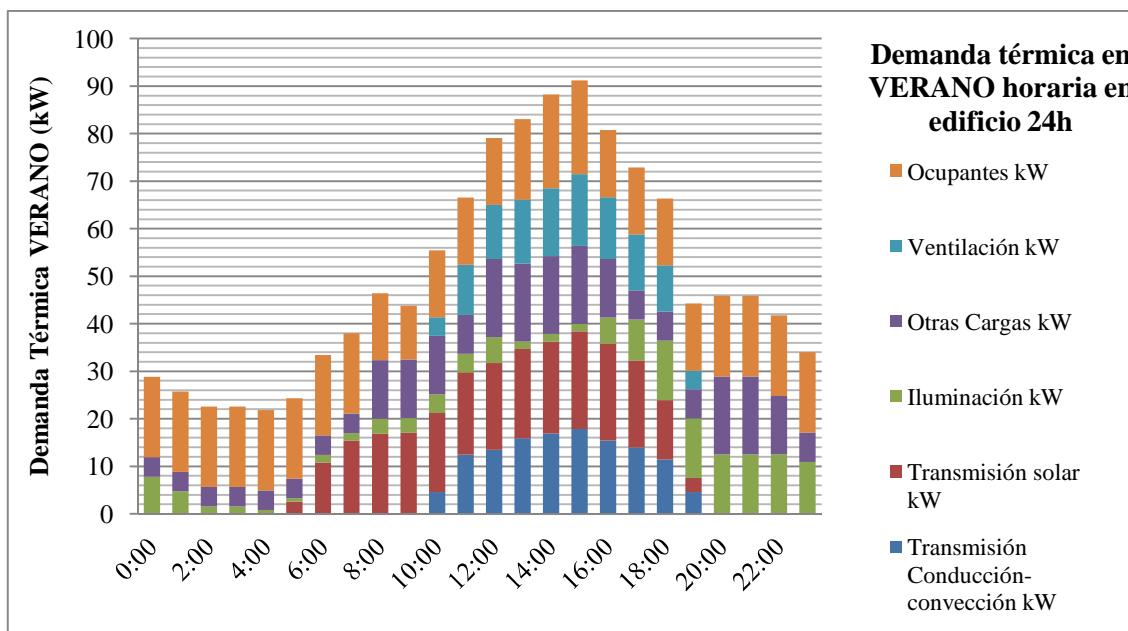


Figura 3.11. Distribución de la demanda térmica horaria en el día representativo de verano para el edificio 24 horas

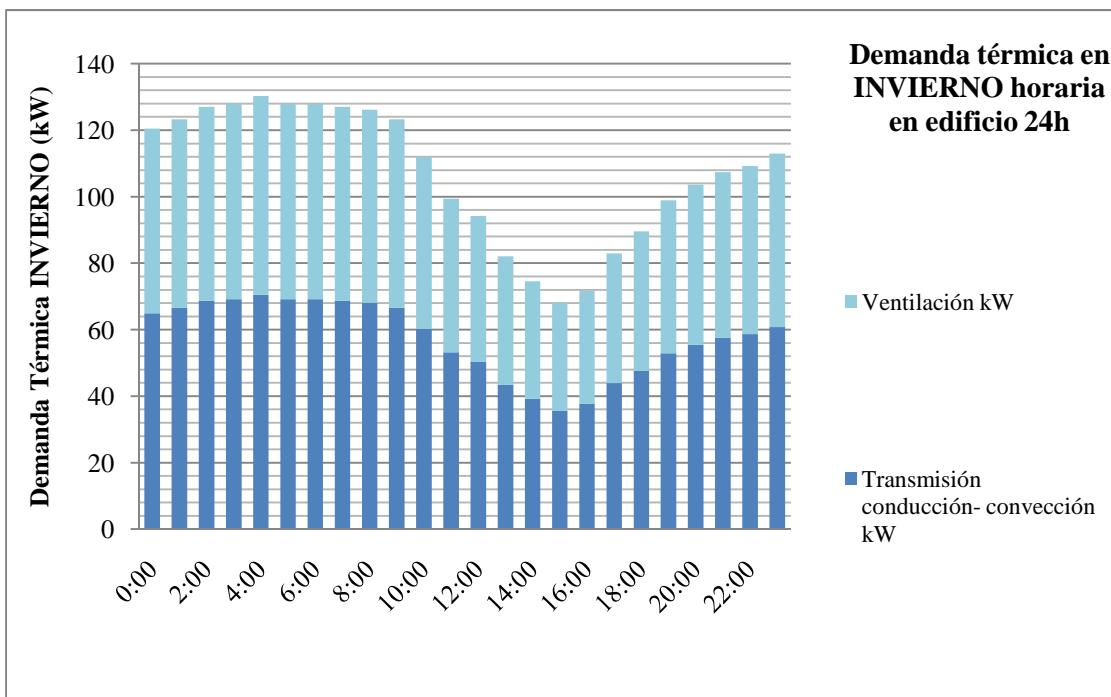


Figura 3.12. Distribución de la demanda térmica horaria en el día representativo de invierno en el edificio 24 horas.

3.3.4. Selección de equipos

Los equipos se seleccionarán en función de las cargas globales térmicas del edificio que se adjuntan en el apartado 3.3.1.

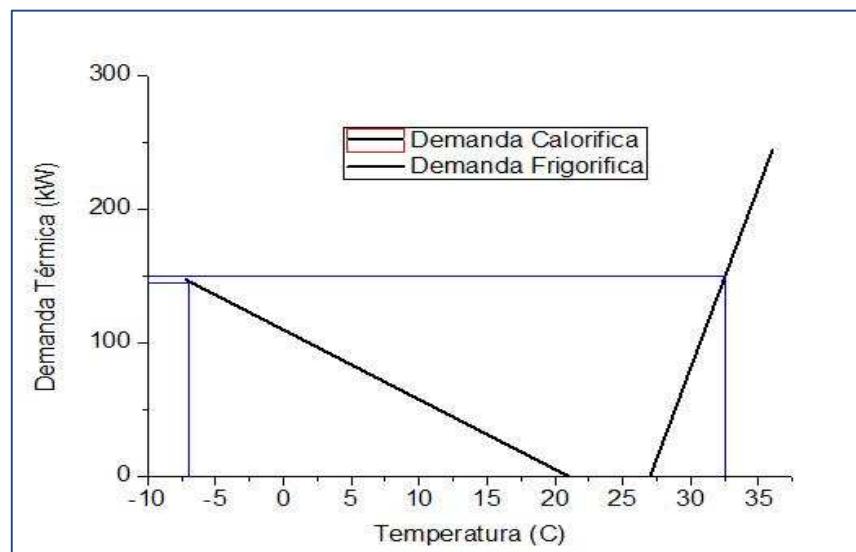


Figura 3.13. Demanda térmica en función de la temperatura

3.3.4.1. Edificio con el uso análogo al de una oficina.

Selección de Bomba de Calor

La bomba de calor se seleccionara en función de nuestras necesidades caloríficas y frigoríficas.

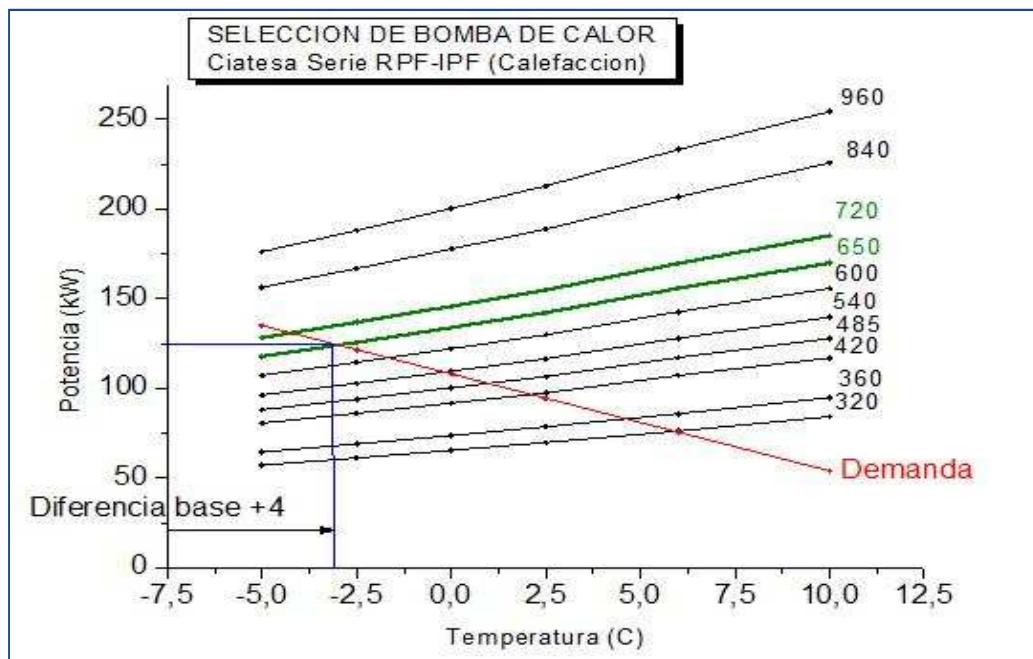


Figura 3.14. Variedad de las prestaciones en términos de potencia de las diferentes bombas de calor en función de la temperatura para el edificio de uso análogo al de una oficina.

La diferencia base se establece en +4 °C dado que para un uso de oficina y dicho clima es lo más adecuado. Entonces se seleccionará una de las dos bombas de calor que más se ajusten a la demanda, en este caso la RPF-IPF 650 y 720.

Ahora se comprueban que dichas bombas aporten la demanda exigida para refrigeración.

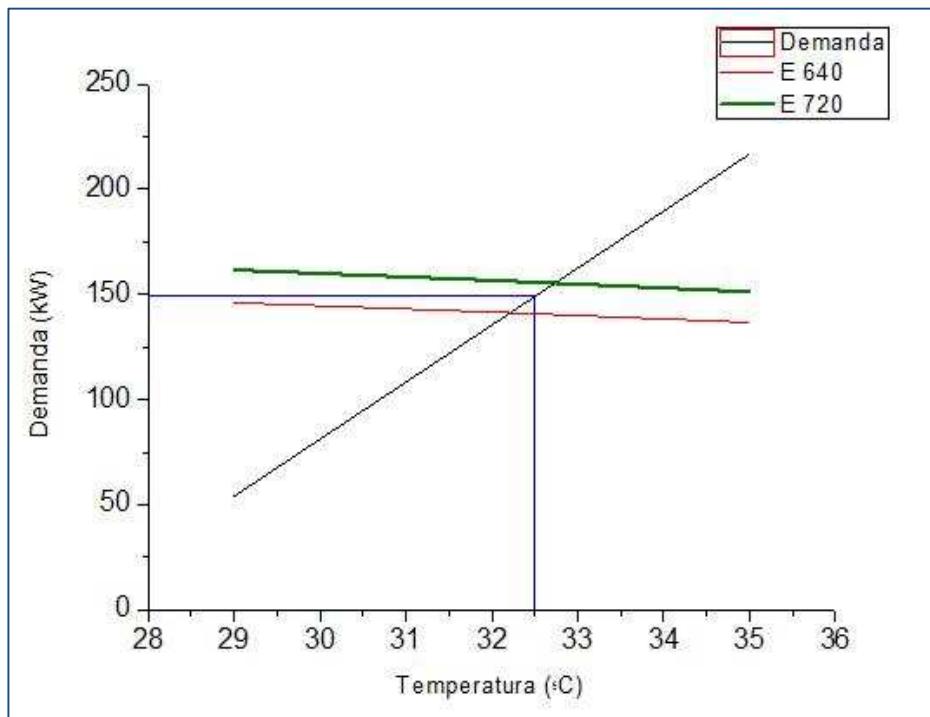


Figura 3.15. Variación de las prestaciones, en refrigeración, en términos de potencia en función de la temperatura exterior de las bombas de calor seleccionadas para el edificio con uso análogo al de una oficina.

Se selecciona la bomba de calor 720 que a la temperatura máxima de diseño cubre la demanda solicitada calculada para esa temperatura.

Potencias Caloríficas

B.C 320	B.C 360	B.C 420	B.C 485	B.C 540	B.C 600	B.C 650	B.C 720	B.C 840	B.C 960	Temp Ext °C
57,3	64,6	80,7	88,2	96,4	107,4	117,9	128,4	156,4	176,3	-5
61,3	69,1	86,1	94,1	102,8	114,6	125,7	136,9	166,9	188,1	-2,5
65,6	73,8	91,8	100,4	109,6	122,2	134	145,9	177,8	200,4	0
69,9	78,7	97,6	106,7	116,6	129,9	142,3	155	188,9	212,9	2,5
76,3	85,9	107,3	117,3	128,1	142,8	155,9	169,8	206,9	233,2	6
84,3	94,9	117	127,9	139,7	155,7	170	185,2	225,7	254,4	10

Potencias Frigoríficas

B.C 320	B.C 360	B.C 420	B.C 485	B.C 540	B.C 600	B.C 650	B.C 720	B.C 840	B.C 960	Temp Ext °C
74.4	83.9	104.8	115.2	127.5	141.8	154.1	166.4	192.6	212.9	35
67.2	75.7	95	104.7	115.6	128.2	138.5	149.5	173.2	191.4	45
65.1	73.4	91.9	101.3	111.8	123.8	133.6	144.2	171.3	184.7	48

El procedimiento de selección se resume en que primero debemos seleccionar las bombas de calor capaces de cubrir la de invierno pues partimos de ahí para

seleccionar la bomba de calor, la B.C 720 y la 650 que nos proporcionan una potencia calorífica capaz de satisfacer la demanda de invierno.

El segundo paso es comprobar que las mismas bombas de calor nos proporcione la potencia frigorífica capaz de satisfacer la demanda de verano. Se observa en la tabla de selección, que la bomba de calor B.C 720 elegida anteriormente es la adecuada.

Los datos técnicos de los equipos elegidos se proporcionan en el Anexo E.

Selección de Enfriadora

Se ha decidido elegir como segunda opción una enfriadora aire/agua para refrigerar en verano. Se procede del mismo modo que en el caso de la bomba de calor para verano.

Demanda Frigorífica	480	600	640	720	840	960	Temperatura exterior	Demanda Frigorífica
	kW						°C	kW
54,16	101,3	126,6	146,1	161,6	192,3	215,1	29	54,16
135,4	98,1	122,6	141,6	156,7	186,3	208	32	135,4
216,7	94,9	118,5	136,7	151,3	180,2	200,9	35	216,7
298	91,6	114,3	131,7	145,9	174	194	38	298
352,1	89,4	111,4	128,3	142,4	169,9	189,3	40	352,1
460,5	84,8	105,4	121,2	134,7	161,6	180,2	44	460,5
568,9	73,2	87,7	101,7	113,2	153,4	171,2	48	568,9

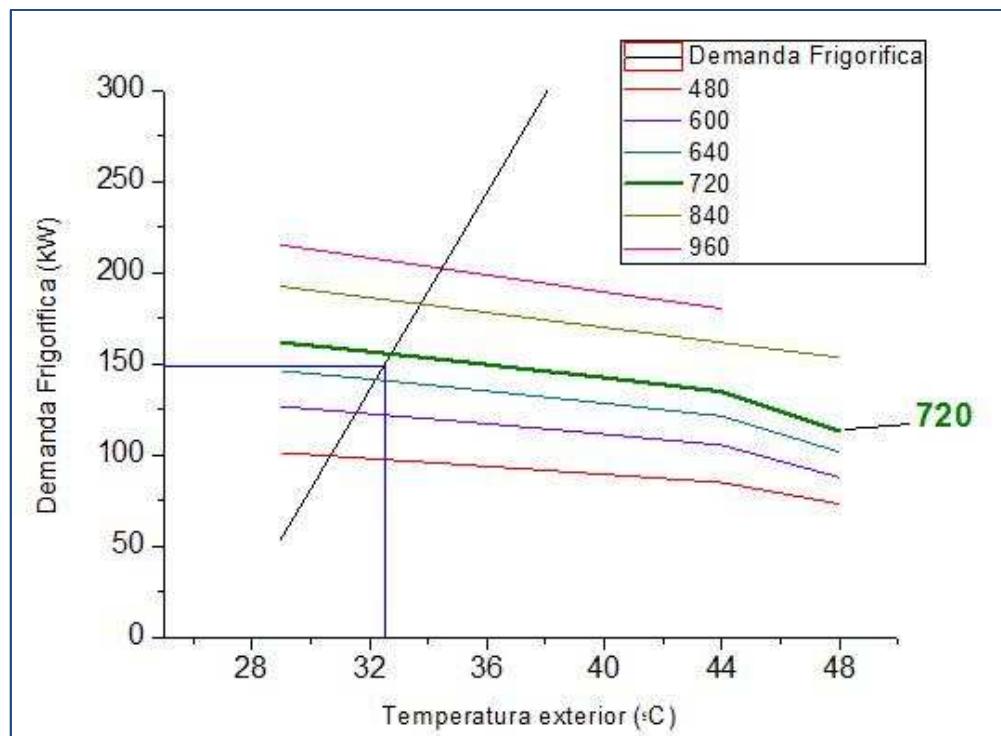


Figura 3.16. Variación de las prestaciones, en términos de potencia, de los distintos tipos de unidades enfriadoras.
Selección de la unidad enfriadora para el edificio con uso análogo al de una oficina.

Para ello se escoge una enfriadora Hidropack WE 720.

Selección de Caldera

Al igual que en la enfriadora se elegirá una caldera que satisfaga la demanda de calefacción. En este caso se escoge una caldera de condensación Viessmann VitoCrossal 200 (44-175 kW) Anexo E.

3.3.4.2. Edificio con un uso de 24 horas.

Selección de Bomba de Calor

La bomba de calor se seleccionará en función de nuestras necesidades caloríficas y frigoríficas.

Se procede del mismo modo que en el caso anterior (uso oficinas) solo que la diferencia base se ve reducida ya que se trata de un uso de 24 horas en este caso. Y por tanto, según el clima y el uso, se debe ajustar esta diferencia base.

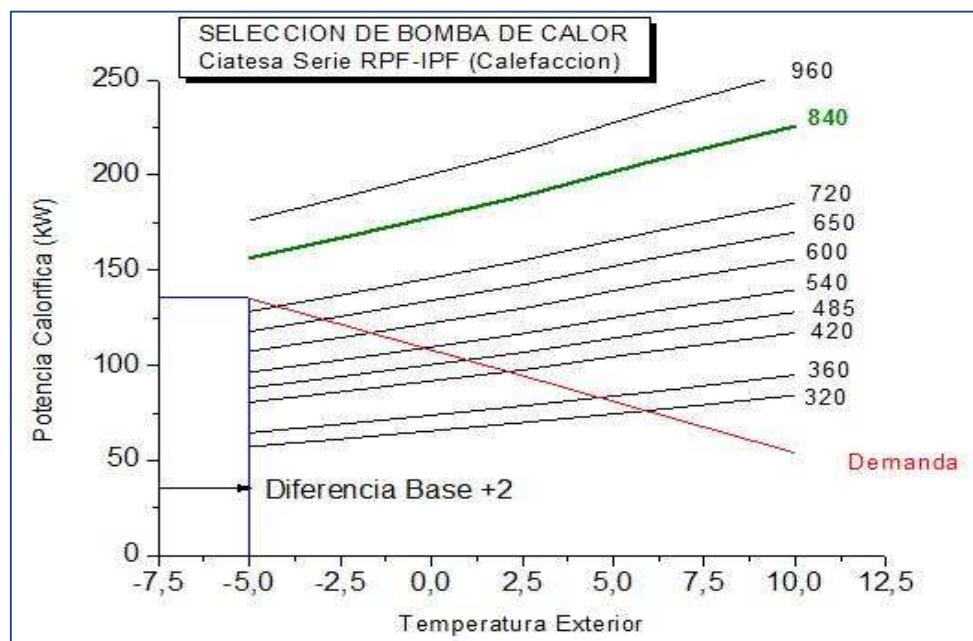


Figura 3.17. Variedad de las prestaciones en términos de potencia de las diferentes bombas de calor en función de la temperatura, para el edificio de uso 24 horas.

Potencias Caloríficas

B.C 320	B.C 360	B.C 420	B.C 485	B.C 540	B.C 600	B.C 650	B.C 720	B.C 840	B.C 960	Temp Ext °C
kW										
57,3	64,6	80,7	88,2	96,4	107,4	117,9	128,4	156,4	176,3	-5
61,3	69,1	86,1	94,1	102,8	114,6	125,7	136,9	166,9	188,1	-2,5
65,6	73,8	91,8	100,4	109,6	122,2	134	145,9	177,8	200,4	0
69,9	78,7	97,6	106,7	116,6	129,9	142,3	155	188,9	212,9	2,5
76,3	85,9	107,3	117,3	128,1	142,8	155,9	169,8	206,9	233,2	6
84,3	94,9	117	127,9	139,7	155,7	170	185,2	225,7	254,4	10

Potencias Frigoríficas

B.C 320	B.C 360	B.C 420	B.C 485	B.C 540	B.C 600	B.C 650	B.C 720	B.C 840	B.C 960	Temp Ext °C
kW										
74,4	83,9	104,8	115,2	127,5	141,8	154,1	166,4	192,6	212,9	35
67,2	75,7	95	104,7	115,6	128,2	138,5	149,5	173,2	191,4	45
65,1	73,4	91,9	101,3	111,8	123,8	133,6	144,2	171,3	184,7	48

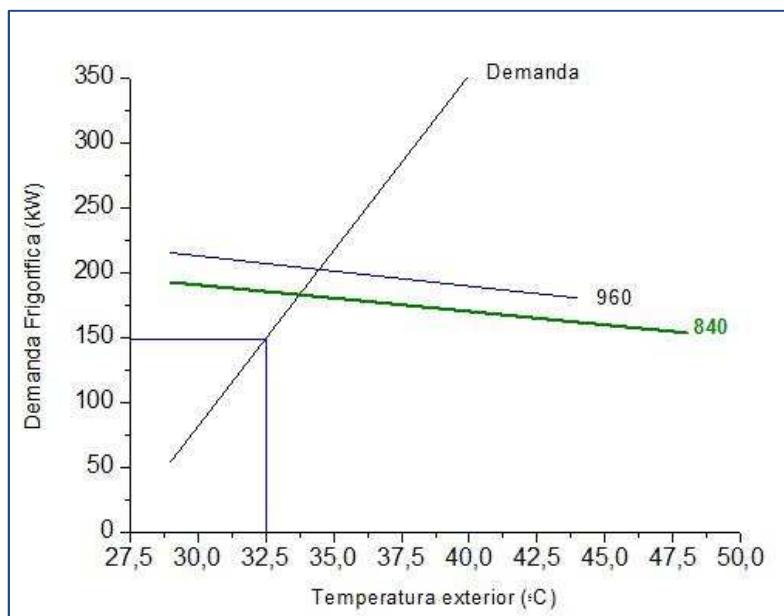


Figura 3.18. Variación de las prestaciones, en términos de potencia en función de la temperatura exterior de las enfriadoras seleccionadas para el edificio con uso 24 horas.

Seleccionamos la Bomba de calor 840, dado que sus características encajan perfectamente con nuestra demanda.

El procedimiento de selección se resume en que primero debemos seleccionar las bombas de calor capaces de cubrir la de invierno pues partimos de ahí para seleccionar la bomba de calor, la B.C 840 y 960 que nos proporcionan una potencia calorífica capaz de satisfacer la demanda de invierno.

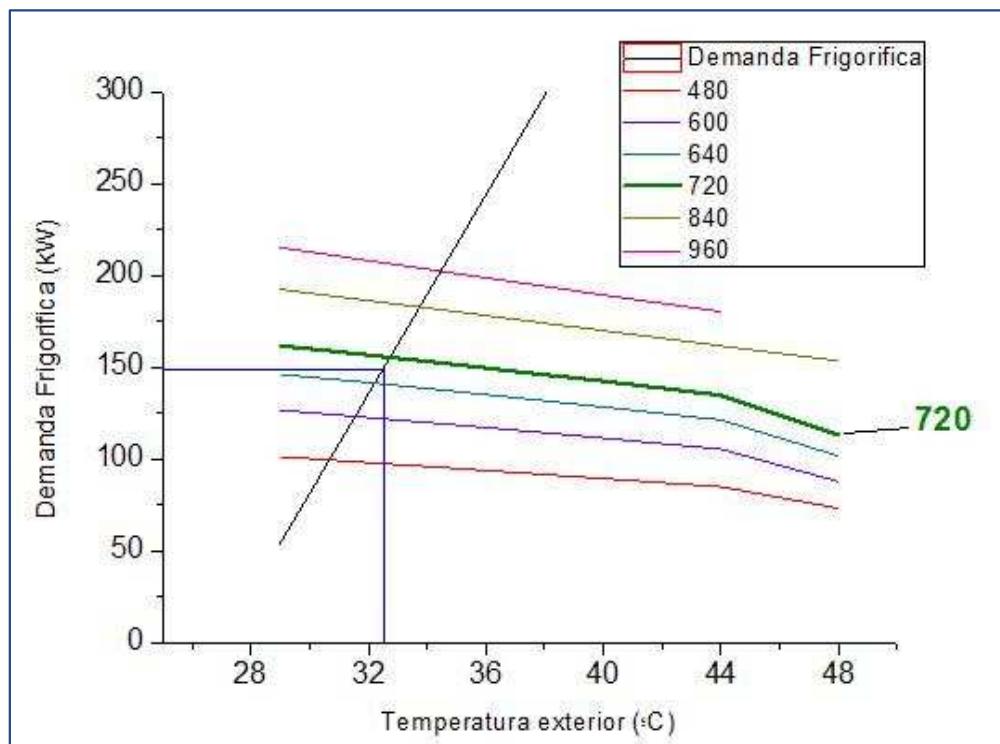
El segundo paso es comprobar que las mismas bombas de calor nos proporcione la potencia frigorífica capaz de satisfacer la demanda de verano. Se observa en la tabla de selección, que la bomba de calor B.C 840 elegida anteriormente es la adecuada.

Los datos de los equipos elegidos se proporcionan en el Anexo E.

Selección de Enfriadora

Se ha decidido elegir como segunda opción una enfriadora aire/agua para refrigerar en verano. Se procede del mismo modo que en el caso de la bomba de calor para verano.

Demanda Frigorífica	480	600	640	720	840	960	Temperatura exterior	Demanda Frigorífica
	kW						°C	kW
54,16	101,3	126,6	146,1	161,6	192,3	215,1	29	54,16
135,4	98,1	122,6	141,6	156,7	186,3	208	32	135,4
216,7	94,9	118,5	136,7	151,3	180,2	200,9	35	216,7
298	91,6	114,3	131,7	145,9	174	194	38	298
352,1	89,4	111,4	128,3	142,4	169,9	189,3	40	352,1
460,5	84,8	105,4	121,2	134,7	161,6	180,2	44	460,5
568,9	73,2	87,7	101,7	113,2	153,4	171,2	48	568,9



Para ello se escoge una enfriadora Hidropack WE 720

Selección de Caldera

Al igual que en la enfriadora se elegirá una caldera que satisfaga la demanda de calefacción. En este caso se escoge una caldera de condensación Viessmann VitoCrossal 200 (44-175 kW)

3.3.5. Cálculos de COP estacional

Para realizar los cálculos de COP/EER estacional se necesitan valores de potencia, consumo y COP/EER a diferentes temperaturas; el primer paso es saber a qué temperaturas necesitamos obtener esos valores, para ello consultaremos la norma EN14825.

Conocidas dichas temperaturas que se muestran en la siguiente tabla, observamos que no coinciden con los datos proporcionados por el catálogo del fabricante.

Ante esta dificultad se ha decidido proceder creando una función de aproximación con los datos que si proporciona el fabricante, se han tomado los valores más conservadores y se han generado dichas funciones.

3.3.5.1. Datos de Bomba de Calor 720.

Las siguientes expresiones son las funciones de aproximación calculadas gracias a los datos que proporciona el fabricante, se han tomado los valores más conservadores y se han generado dichas funciones:

$$\text{PotenciaCalefaccion720}=3,64 \cdot \text{Temperatura exterior} + 145,9$$

$$\text{ConsumoCalefaccion720}=0,44 \cdot \text{Temperatura exterior} + 43,9$$

$$\text{PotenciaRefrigeracion720}=-1,69 \cdot \text{Temperatura exterior} + 225,55$$

$$\text{ConsumoRefrigeracion720}=0,96 \cdot \text{Temperatura exterior} + 13,6$$

Se han introducido dichas expresiones en el programa EES y se han calculado los datos de COP/EER para las Temperaturas que exige la norma.

La siguiente tabla pertenece a los datos de Calefacción

Potencia Calorífica (kW)	Potencia absorbida (kW)	COP	Temperatura exterior (°C)
153,2	44,78	3,421	2
171,4	46,98	3,648	7
120,4	40,82	2,95	-7
189,6	49,18	3,855	12

La siguiente tabla pertenece a los datos de Refrigeración

Potencia Frigorífica (kW)	Potencia absorbida (kW)	EER	Temperatura exterior (°C)
166,4	47,2	3,525	35
174,9	42,4	4,124	30
183,3	37,6	4,875	25
191,8	32,8	5,846	20

3.3.5.2.Datos de Bomba de Calor 840.

Las siguientes expresiones son las funciones de aproximación calculadas gracias a los datos que proporciona el fabricante, se han tomado los valores más conservadores y se han generado dichas funciones:

$$\text{PotenciaCalefaccion840}=4,44 * \text{Temperatura exterior} + 177,8$$
$$\text{ConsumoCalefaccion840}=0,52 * \text{Temperatura exterior} + 53,1$$

$$\text{PotenciaRefrigeracion840}=(-1,94) * \text{Temperatura exterior} + 260,5$$
$$\text{ConsumoRefrigeracion840}=1,2 * \text{Temperatura exterior} + 15,1$$

Se han introducido dichas expresiones en el programa EES y se han calculado los datos de COP/EER para las Temperaturas que exige la norma.

En las siguientes tablas se registran los datos técnicos pertenecientes a la bomba de calor Ciatesa SPF-IPF 840 que se ha seleccionado anteriormente:

La siguiente tabla pertenece a los datos de Calefacción

Potencia Calórica (kW)	Potencia absorbida (kW)	COP	Temperatura exterior (°C)
186,7	54,14	3,448	2
208,9	56,74	3,681	7
146,7	49,46	2,966	-7
231,1	59,34	3,894	12

La siguiente tabla pertenece a los datos de Refrigeración

Potencia Frigorífica (kW)	Potencia absorbida (kW)	EER	Temperatura exterior (°C)
192,6	57,1	3,373	35
202,3	51,1	3,959	30
212	45,1	4,701	25
221,7	39,1	5,67	20

3.3.5.3. Datos del equipo enfriador WE 720.

Se procede del mismo modo que con la bomba de calor:

Para obtener, como en el caso anterior, datos calculados a las temperaturas exigidas por la norma, se realiza lo mismo, una aproximación mediante funciones:

$$\text{PotenciaEnfriador720} = -1,8 * \text{Temperatura exterior} + 214,3$$

$$\text{ConsumoEnfriador720} = 1 * \text{Temperatura exterior} + 16,5$$

La siguiente tabla pertenece a los datos de Refrigeración de la Enfriadora a los datos solicitados por la norma:

Potencia Frigorífica (kW)	Potencia absorbida (kW)	EER	Temperatura exterior (°C)
151,3	51,5	2,938	35
160,3	46,5	3,447	30
169,3	41,5	4,08	25
178,3	36,5	4,885	20

3.3.5.4. Cálculo de COP/EER estacional.

3.3.5.4.1. Calculo de SCOP/SEER de Bomba de Calor 720.

La norma madre que guía el procedimiento de este cálculo es la EN 14825. A continuación se muestran los cálculos acerca del COP medio estacional o SCOP:

COP Me	2,59		Perfil Climático Europeo							
			B.C. 720	Temperatura Evaporador	Temperatura Condensador	ICP	Potencia calorífica	Potencia absorbida	COP	Factores Ponderación
				°C	°C	%	kW	kW		
A				2	20	100,00%	153,20	44,78	3,42	50,00%
B				7	20	55,00%	84,26	25,84	3,26	22,00%
C				-7	20	155,00%	237,46	157,88	1,50	24,00%
						Pump	120,40	40,82	2,95	
						U.Auxiliar	117,06	117,06	1,00	
D				12	20	20,00%	30,64	9,84	3,12	4,00%

$$X = \frac{\text{PotenciaCalorífica}(-7^\circ\text{C})}{\text{PotenciaCalorífica}(2^\circ\text{C})} = 0.7859$$

$$COP_c = \frac{1.55}{X / COP(-7^\circ\text{C}) + 1.55 - X} = \frac{1.55}{0.79 / 2.16 + 1.55 - 0.79} = 1.50$$

Para ello se calculan los COP instantáneos a esas determinadas cargas parciales y a esas determinadas Temperaturas exteriores establecidas por la norma en un Perfil Medio Climático Europeo.

$$SCOP = \frac{1}{FPa/COPa + FPb/COPb + FPc/COPc + FPd/COPd} = 2.59$$

La siguiente tabla muestra los cálculos de EER medio estacional o SEER, según la norma:

EER Me	4,40		Perfil Climático Europeo				
			ICP	Potencia frigorífica	Potencia absorbida	EER	Factores Ponderación
B.C. 720	Temperatura Condensador	Temperatura Evaporador					
	°C	°C	%	kW	kW		
A	35	27	100,00%	166,40	47,20	3,53	4,00%
B	30	27	75,00%	124,80	31,80	3,92	26,00%
C	25	27	50,00%	83,20	18,80	4,43	40,00%
D	20	27	25,00%	41,60	8,20	5,07	30,00%

$$SEER = \frac{1}{FPa/EERa + FPb/EERb + FPc/EERc + FPd/EERd} = 4.40$$

3.3.5.4.2. Calculo de SCOP/SEER de Bomba de Calor 840.

La norma madre que guía el procedimiento de este cálculo es la EN 14825. A continuación se muestran los cálculos acerca del COP medio estacional o SCOP:

COP Me	2,60		Perfil Climático Europeo					
			B.C. 840	Temperatura Evaporador	Temperatura Condensador	ICP	Potencia calorífica	Potencia absorbida
				°C	°C	%	kW	kW
A				2	20	100,00%	186,70	54,14
B				7	20	55,00%	102,69	31,21
C				-7	20	155,00%	289,39	192,15
						Pump	146,70	49,46
						U.Auxiliar	142,69	142,69
D				12	20	20,00%	37,34	11,87

$$X = \frac{PotenciaCalorífica(-7^\circ C)}{PotenciaCalorífica(2^\circ C)} = 0.78$$

$$COP_c = \frac{1.55}{X / COP(-7^\circ C) + 1.55 - X} = \frac{1.55}{0.78 / 2.16 + 1.55 - 0.78} = 1.51$$

Para ello se calculan los COP instantáneos a esas determinadas cargas parciales y a esas determinadas Temperaturas exteriores establecidas por la norma en un Perfil Medio Climático Europeo.

$$SCOP = \frac{1}{FPa/COPa + FPb/COPb + FPc/COPc + FPd/COPd} = 2.60$$

La siguiente tabla muestra los cálculos de EER medio estacional o SEER, según la norma:

EER Me	4,25		Perfil Climático Europeo					
			ICP	Potencia frigorífica	Potencia absorbida	EER	Factores Ponderación	
B.C. 840	Temperatura Condensador	Temperatura Evaporador	%	kW	kW			
	°C	°C	%	kW	kW			
A	35	27	100,00%	192,60	57,10	3,37	4,00%	
B	30	27	75,00%	144,45	38,33	3,77	26,00%	
C	25	27	50,00%	96,30	22,55	4,27	40,00%	
D	20	27	25,00%	48,15	9,78	4,93	30,00%	

$$SEER = \frac{1}{FPa/EERA + FPb/EERb + FPc/EERc + FPd/EERd} = 4.25$$

3.3.5.4.3. Calculo de SEER del equipo Enfriador WE 720

Como en el caso anterior de bomba de calor se realiza el mismo procedimiento para calcular el SEER del equipo enfriador:

EER Me	3,63		Perfil Climático Europeo					
			ICP	Potencia frigorífica	Potencia absorbida	EER	Factores Ponderación	
E. 720	Temperatura Condensador	Temperatura Evaporador	%	kW	kW			
	°C	°C	%	kW	kW			
A	35	27	100,00%	151,30	51,50	2,94	4,00%	
B	30	27	75,00%	113,48	34,88	3,25	26,00%	
C	25	27	50,00%	75,65	20,75	3,65	40,00%	
D	20	27	25,00%	37,83	9,13	4,15	30,00%	

$$SEER = \frac{1}{FPa/EERA + FPb/EERb + FPc/EERc + FPd/EERd} = 3.63$$

3.3.6. Cálculo del COP/EER medio diario de la Bomba de calor

Para el cálculo de este COP/EER se ha utilizado como principal herramienta el programa EES, donde se han utilizado las funciones halladas anteriormente correspondientes a la Bomba de Calor, para hallar los COP/EER a las temperaturas de cada hora en los días representativos que se han tomado. Este procedimiento se realizará tanto para la opción bomba de calor, como para la opción de la unidad enfriadora con caldera.

3.3.6.1. Edificio con uso análogo a una oficina.

3.3.6.1.1. Opción 1. Bomba de calor

Para el cálculo de este novedoso COP/EER se han utilizado las funciones halladas anteriormente correspondientes a la Bomba de Calor 720:

PotenciaCalefaccion720=3,64*Temperatura exterior+145,9

ConsumoCalefaccion720=0,44*Temperatura exterior+43,9

PotenciaRefrigeracion720=-1,69*Temperatura exterior+225,55

ConsumoRefrigeracion720=0,96*Temperatura exterior+13,6

La siguiente tabla son los datos de Calefacción de la Bomba de calor.

Bomba de Calor SPF IPF 720 (CALEFACCIÓN)					Demanda	ICP	Potencia absorbida
Hora	Potencia Calefacción	Potencia absorbida	EER	Temperatura exterior			
	kW			°C	kW	%	kW
0:00	129,9	41,96	3,095	-4,4	0	0%	0
1:00	127,7	41,7	3,062	-5	0	0%	0
2:00	124,8	41,35	3,018	-5,8	0	0%	0
3:00	124,1	41,26	3,007	-6	0	0%	0
4:00	122,2	41,04	2,979	-6,5	0	0%	0
5:00	124,1	41,26	3,007	-6	0	0%	0
6:00	124,1	41,26	3,007	-6	0	0%	0
7:00	124,8	41,35	3,018	-5,8	0	0%	0
8:00	125,5	41,44	3,029	-5,6	68	54%	22
9:00	127,7	41,7	3,062	-5	123	96%	40
10:00	136,4	42,76	3,191	-2,6	112	82%	35
11:00	146,3	43,94	3,328	0,1	99	68%	30
12:00	150,3	44,43	3,382	1,2	94	63%	28
13:00	159,7	45,57	3,505	3,8	82	51%	23
14:00	165,6	46,28	3,578	5,4	75	45%	21
15:00	170,7	46,89	3,639	6,8	68	40%	19
16:00	167,7	46,54	3,604	6	72	43%	20
17:00	159	45,48	3,496	3,6	83	52%	24
18:00	153,9	44,87	3,43	2,2	90	58%	26
19:00	146,6	43,99	3,333	0,2	99	68%	30
20:00	143	43,55	3,283	-0,8	104	73%	32
21:00	140,1	43,2	3,243	-1,6	107	76%	33
22:00	138,6	43,02	3,222	-2	0	0%	0
23:00	135,7	42,67	3,181	-2,8	0	0%	0
COP DIARIO					3,33		

La siguiente tabla pertenece a los datos de verano para la Bomba de Calor:

Bomba de Calor SPF IPF 720 (REFRIGERACIÓN)							
Hora	Potencia Frigorífica	Potencia absorbida	EER	Temperatura exterior	Demanda	ICP	Potencia absorbida
	kW			°C	kW	%	kW
0:00	190,1	33,76	5,63	21	0	0%	0
1:00	192,1	32,61	5,891	19,8	0	0%	0
2:00	194,8	31,07	6,269	18,2	0	0%	0
3:00	197,5	29,54	6,687	16,6	0	0%	0
4:00	199,5	28,38	7,029	15,4	0	0%	0
5:00	201,2	27,42	7,337	14,4	0	0%	0
6:00	201,2	27,42	7,337	14,4	0	0%	0
7:00	192,4	32,42	5,936	19,6	0	0%	0
8:00	184,3	37,02	4,978	24,4	21	11%	4
9:00	179,6	39,71	4,522	27,2	28	16%	6
10:00	174,2	42,78	4,071	30,4	52	30%	13
11:00	168,8	45,86	3,68	33,6	76	45%	21
12:00	168,1	46,24	3,635	34	81	48%	22
13:00	166,4	47,2	3,525	35	80	48%	23
14:00	165,7	47,58	3,483	35,4	74	45%	21
15:00	165	47,97	3,441	35,8	77	47%	22
16:00	166,7	47,01	3,547	34,8	89	53%	25
17:00	167,8	46,43	3,613	34,2	87	52%	24
18:00	169,4	45,47	3,726	33,2	77	45%	21
19:00	174,2	42,78	4,071	30,4	51	29%	13
20:00	181,6	38,56	4,71	26	36	20%	8
21:00	186,7	35,68	5,232	23	14	7%	3
22:00	187,7	35,1	5,347	22,4	0	0%	0
23:00	190,7	33,38	5,715	20,6	0	0%	0
EER DIARIO					3,74		

3.3.6.1.2. Opción 2. Equipo enfriador.

Para el cálculo de este novedoso COP/EER se han utilizado las funciones halladas anteriormente correspondientes a la Enfriadora WE 720:

$$\text{PotenciaEnfriador720} = -1,8 * \text{Temperatura exterior} + 214,3$$

$$\text{ConsumoEnfriador720} = 1 * \text{Temperatura exterior} + 16,5$$

La siguiente tabla pertenece a los datos de verano para la Enfriadora:

Enfriadora Hidropack WE 720 (REFRIGERACIÓN)							
Hora	Potencia Frigorífica	Potencia absorbida	EER	Temperatura exterior	Demanda	ICP	Potencia absorbida
	kW			°C	kW	%	kW
0:00	176,5	37,5	4,707	21	0	0%	0
1:00	178,7	36,3	4,922	19,8	0	0%	0
2:00	181,5	34,7	5,232	18,2	0	0%	0
3:00	184,4	33,1	5,572	16,6	0	0%	0
4:00	186,6	31,9	5,849	15,4	0	0%	0
5:00	188,4	30,9	6,096	14,4	0	0%	0
6:00	188,4	30,9	6,096	14,4	0	0%	0
7:00	179	36,1	4,959	19,6	0	0%	0
8:00	170,4	40,9	4,166	24,4	21	12%	5
9:00	165,3	43,7	3,784	27,2	28	17%	7
10:00	159,6	46,9	3,403	30,4	52	33%	15
11:00	153,8	50,1	3,07	33,6	76	49%	25
12:00	153,1	50,5	3,032	34	81	53%	27
13:00	151,3	51,5	2,938	35	80	53%	27
14:00	150,6	51,9	2,901	35,4	74	49%	26
15:00	149,9	52,3	2,865	35,8	77	51%	27
16:00	151,7	51,3	2,956	34,8	89	59%	30
17:00	152,7	50,7	3,013	34,2	87	57%	29
18:00	154,5	49,7	3,109	33,2	77	50%	25
19:00	159,6	46,9	3,403	30,4	51	32%	15
20:00	167,5	42,5	3,941	26	36	21%	9
21:00	172,9	39,5	4,377	23	14	8%	3
22:00	174	38,9	4,472	22,4	0	0%	0
23:00	177,2	37,1	4,777	20,6	0	0%	0
EER DIARIO					3,12		

3.3.6.1.3. Resultados.

En las siguientes tablas se establecen los resultados obtenidos por el estudio tanto para la opción bomba de calor como para la opción de caldera más enfriadora, en el local con uso análogo al de una oficina.

Bomba de Calor			
SCOP	COP diario	SEER	EER diario
2,59	3.33	4.40	3.74

Caldera		Enfriadora	
Rendimiento		SEER	EER diario
40/30°C	75/60°C	3,63	3.12
97/108%	95/106%		

3.3.6.2. Edificio con uso de 24 horas.

3.3.6.2.1. Opción 1. Bomba de calor.

Para el cálculo de este novedoso COP/EER se han utilizado las funciones halladas anteriormente correspondientes a la Bomba de Calor 840:

$$\text{PotenciaCalefaccion840}=4,44 \cdot \text{Temperatura exterior} + 177,8$$

$$\text{ConsumoCalefaccion840}=0,52 \cdot \text{Temperatura exterior} + 53,1$$

$$\text{PotenciaRefrigeracion840}=(-1,94) \cdot \text{Temperatura exterior} + 260,5$$

$$\text{ConsumoRefrigeracion840}=1,2 \cdot \text{Temperatura exterior} + 15,1$$

La siguiente tabla son los datos de Calefacción para la Bomba de calor 840.

Bomba de Calor SPF IPF 840 (Calefacción)					<i>Demanda</i>	<i>ICP</i>	<i>Potencia absorbida</i>
Hora	Potencia Calefacción	Potencia absorbida	EER	Temperatura exterior	kW	%	kW
kW			°C		kW		
0:00	158,3	50,81	3,115	-4,4	120	76%	39
1:00	155,6	50,5	3,081	-5	123	79%	40
2:00	152	50,08	3,036	-5,8	127	84%	42
3:00	151,2	49,98	3,024	-6	128	85%	42
4:00	148,9	49,72	2,996	-6,5	130	87%	43
5:00	151,2	49,98	3,024	-6	128	85%	42
6:00	151,2	49,98	3,024	-6	128	85%	42
7:00	152	50,08	3,036	-5,8	127	84%	42
8:00	152,9	50,19	3,047	-5,6	126	82%	41
9:00	155,6	50,5	3,081	-5	123	79%	40
10:00	166,3	51,75	3,213	-2,6	112	67%	35
11:00	178,2	53,15	3,353	0,1	99	56%	30
12:00	183,1	53,72	3,409	1,2	94	51%	28
13:00	194,7	55,08	3,535	3,8	82	42%	23
14:00	201,8	55,91	3,609	5,4	75	37%	21
15:00	208	56,64	3,672	6,8	68	33%	19
16:00	204,4	56,22	3,636	6	72	35%	20
17:00	193,8	54,97	3,525	3,6	83	43%	24
18:00	187,6	54,24	3,458	2,2	90	48%	26
19:00	178,7	53,2	3,359	0,2	99	55%	29
20:00	174,2	52,68	3,307	-0,8	104	60%	31
21:00	170,7	52,27	3,266	-1,6	107	63%	33
22:00	168,9	52,06	3,245	-2	109	65%	34
23:00	165,4	51,64	3,202	-2,8	113	68%	35
COP DIARIO					3,21		

La siguiente tabla pertenece a los datos de verano para la Bomba de Calor 840:

Bomba de Calor SPF IPF 840 (REFRIGERACIÓN)							
Hora	Potencia Frigorífica	Potencia absorbida	EER	Temperatura exterior	Demanda	ICP	Potencia absorbida
	kW			°C	kW	%	kW
0:00	219,8	40,3	5,453	21	29	13%	5
1:00	222,1	38,86	5,715	19,8	26	12%	5
2:00	225,2	36,94	6,096	18,2	23	10%	4
3:00	228,3	35,02	6,519	16,6	23	10%	4
4:00	230,6	33,58	6,868	15,4	22	10%	3
5:00	232,6	32,38	7,182	14,4	24	10%	3
6:00	232,6	32,38	7,182	14,4	33	14%	5
7:00	222,5	38,62	5,761	19,6	38	17%	7
8:00	213,2	44,38	4,803	24,4	46	22%	10
9:00	207,7	47,74	4,351	27,2	44	21%	10
10:00	201,5	51,58	3,907	30,4	55	27%	14
11:00	195,3	55,42	3,524	33,6	67	34%	19
12:00	194,5	55,9	3,48	34	79	41%	23
13:00	192,6	57,1	3,373	35	83	43%	25
14:00	191,8	57,58	3,331	35,4	88	46%	26
15:00	191	58,06	3,291	35,8	91	48%	28
16:00	193	56,86	3,394	34,8	81	42%	24
17:00	194,2	56,14	3,458	34,2	73	38%	21
18:00	196,1	54,94	3,569	33,2	66	34%	18
19:00	201,5	51,58	3,907	30,4	44	22%	11
20:00	210,1	46,3	4,537	26	46	22%	10
21:00	215,9	42,7	5,056	23	46	21%	9
22:00	217	41,98	5,17	22,4	42	19%	8
23:00	220,5	39,82	5,538	20,6	34	15%	6
EER DIARIO					4,05		

3.3.6.2.2. Opción 2. Equipo Enfriador.

Procedemos del mismo modo:

Primero recuperar la función de aproximación referente a la enfriadora:

PotenciaEnfriador720=-1,8*Text+214,3

ConsumoEnfriador720=1*Text+16,5

La siguiente tabla pertenece a los datos de verano para la Enfriadora:

Enfriadora Hidropack WE 720 (REFRIGERACIÓN)					Demanda	ICP	Potencia absorbida
Hora	Potencia Frigorífica	Potencia absorbida	EER	Temperatura exterior			
kW							
0:00	176,5	37,5	4,707	21	29	16%	6
1:00	178,7	36,3	4,922	19,8	26	15%	5
2:00	181,5	34,7	5,232	18,2	23	13%	4
3:00	184,4	33,1	5,572	16,6	23	12%	4
4:00	186,6	31,9	5,849	15,4	22	12%	4
5:00	188,4	30,9	6,096	14,4	24	13%	4
6:00	188,4	30,9	6,096	14,4	33	18%	5
7:00	179	36,1	4,959	19,6	38	21%	8
8:00	170,4	40,9	4,166	24,4	46	27%	11
9:00	165,3	43,7	3,784	27,2	44	27%	12
10:00	159,6	46,9	3,403	30,4	55	34%	16
11:00	153,8	50,1	3,07	33,6	67	44%	22
12:00	153,1	50,5	3,032	34	79	52%	26
13:00	151,3	51,5	2,938	35	83	55%	28
14:00	150,6	51,9	2,901	35,4	88	58%	30
15:00	149,9	52,3	2,865	35,8	91	61%	32
16:00	151,7	51,3	2,956	34,8	81	53%	27
17:00	152,7	50,7	3,013	34,2	73	48%	24
18:00	154,5	49,7	3,109	33,2	66	43%	21
19:00	159,6	46,9	3,403	30,4	44	28%	13
20:00	167,5	42,5	3,941	26	46	27%	12
21:00	172,9	39,5	4,377	23	46	27%	11
22:00	174	38,9	4,472	22,4	42	24%	9
23:00	177,2	37,1	4,777	20,6	34	19%	7
EER DIARIO					3,51		

3.3.6.2.3. Resultados

En las siguientes tablas se establecen los resultados obtenidos por el estudio tanto para la opción bomba de calor como para la opción de caldera más enfriadora, en el local con uso 24 horas.

Bomba de Calor			
SCOP	COP diario	SEER	EER diario
2.60	3.21	4.25	4.05

Caldera		Enfriadora	
Rendimiento	SEER	EER diario	
40/30°C	75/60°C	3,63	3.51
97/108%	95/106%		

3.3.7. Estudio económico

Se ha comenzando realizando el estudio económico haciendo una estimación conservadora de lo que se gastaría en kWh.

		ESTIMACIÓN ANUAL								kWh	
		NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	JUNIO	JULIO	AGOSTO		
OFICINA	Enfriadora 720						8096	8366	8366	24.828	eléctricidad
	Bomba de Calor 720	11479	11861	11861	10713	11861	6754	6979	6979	78.487	
24h	Bomba de Calor 840	24004	24804	24804	22404	24804	8919	9216	9216	148.171	Natural
	Enfriadora 720						10268	10610	10610	31.489	
OFICINA	Caldera	36113	37317	37317	33706	37317				181.770	kWh Gas
24h	Caldera	siguiente tabla representa la factura estimada de gas natural.	72651	73073	73073	73073				365.676	Natural

tarifa 3.4 (GN)	Precio €/kWh	Precio €	meses contratados	kWh	Total €
Coste fijo	-	59,25	5		296 €
Coste variable	0,023684	-			
			Oficina	181.770	4.305 €
			24h	365.676	8.661 €
			Oficina		4.601 €
			24h		8.957 €

La siguiente tabla representa la factura de electricidad estimada.

tarifa 3.4 (e-)		Precio €/kw/año	facturas / año	Kw (potencia contratada)	Total €
Coste fijo	B.C	20,63312	1	75	1.547 €
Coste variab	Enfriadora	20,63312	1	50	1.032 €
Precio €/kWh	Consumo kWh/año	Oficina	Enfriadora	24.828	3.508 €
0,1413110 €			Bomba Calor	78.487	11.091 €
	24h	Oficina	Enfriadora	31.489	4.450 €
			Bomba Calor	148.171	20.938 €
	24h	Oficina	Enfriadora		4.540 €
			Bomba Calor		12.639 €
	24h	Oficina	Enfriadora		5.481 €
			Bomba Calor		22.486 €

Los consumos, con un IVA de 18% estimados, se denotan a continuación en la siguiente tabla:

PRECIOS CON IVA 18%		
Bomba de Calor 720	14.914 €	€/año
Enfriadora 720 + Caldera	10.787 €	€/año
Bomba de Calor 840	26.533 €	€/año
Enfriadora 720 + Caldera	17.037 €	€/año

A continuación se proponen los precios de los equipos pertenecientes al circuito primario:

PRECIO EQUIPOS	MODELO	PRECIO SIN IVA	PRECIO CON IVA (18%)
Bomba de calor AIRE-AIRE	Space PF 720	32.500 €	38.350 €
Bomba de calor AIRE-AIRE	Space PF 840	37.337 €	44.058 €
Enfriadora AIRE-AGUA	Hidropack WE 720	26.100 €	30.798 €
Caldera de condensación	VitoCrossal 200 (47-186 kW)	12.834 €	15.144 €

OPCION BOMBA DE CALOR				
Intercambiadores	2	2592	5184	
Valvulas Termoestáticas	7	64,52	451,64	
Vasos de expansion	3	185	555	
Amortiguador	1	60,95	60,95	
AISLAMIENTO	1	300	300	
TOTAL APROXIMADO				6.551,59 €

OPCION ENFRIADORA + CALDERA			
Intercambiadores	3	2592	7776
Valvulas Termoestáticas	13	64,52	838,76
Vasos de expansion	3	185	555
Amortiguador	1	60,95	60,95
bomba	1	1139	1139
Chimenea de acero inoxidable	1	2336	2336
AISLAMIENTO	1	2000	2000
TOTAL APROXIMADO			14.705,71€

Dado que ya se han estimado las inversiones iniciales y los flujos de caja, se procederá a determinar el payback para cada uso de local.

OFICINA			24h		
PERIODO	PAGOS	ACUMULADA	PERIODO	PAGOS	ACUMULADA
0	-15.746 €		0	-10.039 €	
1	4.127 €	-11.620 €	1	9.496 €	-543 €
2	4.127 €	-7.493 €	2	9.496 €	8.953 €
3	4.127 €	-3.366 €	3	9.496 €	18.449 €
4	4.127 €	760 €	4	9.496 €	27.945 €
5	4.127 €	4.887 €	5	9.496 €	37.441 €

Enfriadora + Caldera Payback	
OFICINA	4 años
EDIFICIO 24h	2 años

3.4. Conclusiones del estudio.

BOMBA DE CALOR

Local Uso Oficinas				Local Uso 24 horas			
SCOP	COP diario	SEER	EER diario	SCOP	COP diario	SEER	EER diario
2,59	3.33	4.40	3.74	2.60	3.21	4.25	4.05

CALDERA – UNIDAD ENFRIADORA

Local Uso Oficinas			Local Uso 24 horas				
Caldera	Enfriadora		Caldera			Enfriadora	
Rendimiento	SEER	EER diario	Rendimiento			SEER	EER diario
40/30°C	75/60°C	3.63	3.12	40/30°C	75/60°C	3.63	3.51
97/108%	95/106%			97/108%	95/106%		

Podemos observar en qué medida, el tipo de uso que se le dé al local (ya sea uso oficinas o uso 24 horas), influye sobre el rendimiento tanto diario como estacional de la Bomba de Calor y el de la unidad enfriadora.

Dado que Teruel pertenece a un clima severo, donde se alcanzan temperaturas extremadamente bajas en invierno y temperaturas no mayores de 35 °C en verano, se obtienen en general peores rendimientos en invierno que en verano, en la tabla anterior se confirma.

Según la Directiva Europea 2009/28/CE:

Si una bomba de calor registra valores de rendimiento estacional por encima de un determinado valor, el consumo de esa energía se considerara renovable con lo que se estaría ayudando a alcanzar las cifras previstas según el PANER 2010-2020.

En la siguiente tabla se hallan los datos referentes al calor útil total y la parte de dicho calor que proviene según la directiva 2009/28/CE de una fuente EERR. Así pues se calculará mediante dicho procedimiento el porcentaje de calor cuya producción proviene de una fuente renovable.

Los mayores porcentajes favorecen en mayor medida el PANER 2010-2020.

Oficina						
	Bomba 720 Invierno		Bomba 720 Verano		Enfriadora 720	
	Calor util total	Calor que proviene de fuente EERR	Calor util total	Calor que proviene de fuente EERR	Calor util total	Calor que proviene de fuente EERR
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
0:00	0	0	0	0	0	0
1:00	0	0	0	0	0	0
2:00	0	0	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0	0	0
5:00	0	0	0	0	0	0
6:00	0	0	0	0	0	0
7:00	0	0	0	0	0	0
8:00	68	42	21	16	21	15
9:00	123	76	28	22	28	20
10:00	112	69	52	40	52	38
11:00	99	61	76	59	76	55
12:00	94	58	81	63	81	59
13:00	82	50	80	62	80	58
14:00	75	46	74	57	74	54
15:00	68	42	77	60	77	56
16:00	72	44	89	69	89	64
17:00	83	51	87	67	87	63
18:00	90	55	77	60	77	56
19:00	99	61	51	39	51	37
20:00	104	64	36	28	36	26
21:00	107	66	14	11	14	10
22:00	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0
Total kWh/dia	1276	783	843	652	843	611
% EE RR	61%		77%		72%	

24 h					
Bomba 840 Inviero		Bomba 840 Verano		Enfriadora 721	
Calor util total	Calor que proviene de fuente EERR	Calor util total	Calor que proviene de fuente EERR	Calor util total	Calor que proviene de fuente EERR
kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
120	74	29	22	29	21
123	76	26	20	26	19
127	78	23	18	23	17
128	79	23	18	23	17
130	80	22	17	22	16
128	79	24	18	24	17
128	79	33	25	33	24
127	78	38	29	38	28
126	78	46	35	46	33
123	76	44	34	44	32
112	69	55	42	55	40
99	61	67	51	67	49
94	58	79	60	79	57
82	51	83	63	83	60
75	46	88	67	88	64
68	42	91	70	91	66
72	44	81	62	81	59
83	51	73	56	73	53
90	55	66	50	66	48
99	61	44	34	44	32
104	64	46	35	46	33
107	66	46	35	46	33
109	67	42	32	42	30
113	70	34	26	34	25
2567	1581	1203	920	1203	871
62%		76%		72%	

CAPITULO 4

Conclusiones

4.1. Conclusiones del estudio acerca de las prestaciones de los equipos de bombas de calor y enfriadoras en el mercado. (1.5).

En la siguiente tabla se recogen los datos de las gráficas 1.21, 1.22, 1.23, 1.24.

		Alternativo Hermético	Scroll	Screw
AIRE	Potencia(kW)	<100	<450	300-1600
	COP	2.25~3	2.25~3	3~3.5
	EER	2~2.5	2~3	2.25~3.25
AGUA	Potencia(kW)	<150	<500	300-1600
	COP	3.25~4.25	3.5~4.5	3.5~5
	EER	3~3.5	3~4.75	3.25~5.25
Aplicación		Uso Doméstico (en extinción)	Oficinas, sector terciario	Uso Industrial

Figura 4.1. Cuadro resumen de los datos recogidos en las gráficas 1.21, 1.22, 1.23, 1.24.

4.2. Conclusiones del estudio acerca de la influencia de las condiciones climatológicas ambientales en la eficiencia de la bomba de calor y equipos enfriadores. (1.6)

En la figura 4.2 se recogen los datos conclusivos para las dos tipologías de equipos a las temperaturas siguientes:

Para Aire: Temperaturas de 35°C como mínima y de 40°C como máxima en el aire como foco exterior en refrigeración y de 5°C y 10°C para calefacción.

Para Agua: Las mismas temperaturas, pero la temperatura que se toma para el foco exterior es a la salida del condensador en refrigeración y a la salida del evaporador en calefacción.

Temperatura °C en el foco exterior	EER(Aire) - EER(Agua)		COP(Aire) - COP(Agua)	
	35°C	40°C	5°C	10°C
Aire	2,3 - 3	2 - 2,7	2,3 - 2,8	2,7 - 3,1
Agua	3,7 - 4,9	3,3 - 4,25	3,55 - 4,2	3,75 - 4,65

Figura 4.2. Cuadro resumen. Influencia de la temperatura del foco externo en la eficiencia de una bomba de calor y enfriadora.

Se observa claramente que las bombas de calor y enfriadoras que utilizan agua como foco exterior, alcanzan rendimientos muy superiores a los equipos que utilizan aire para las temperaturas seleccionadas.

4.3. Conclusiones del rendimiento estacional y la directiva 2009/28/CE.

La Directiva 2009/28/CE establece en su ANEXO VII, que las bombas de calor con un SPF por encima de un límite establecido por el cociente entre la producción total bruta de electricidad y el consumo primario de energía para la producción de electricidad (Calculado como una media de la UE basada en datos de Eurostat). Trascendiendo los conocimientos que han resultado del análisis y estudios realizados, se puede ampliar la información hacia lo propuesto en el anexo de la correspondiente directiva puntualizando que, calculando el cociente entre la producción total bruta de electricidad y el consumo primario de energía para la producción de electricidad como una media de la UE, se obtiene un dato virtual para Europa. No obstante, no todos los cocientes de producción energética son iguales en cada país.

Por tanto, para una discriminación en la aplicación de esta directiva, países de diferentes rendimientos de producción energética, podrían considerar valores de SPF (rendimiento estacional) diferentes, aun tratándose del mismo equipo de bomba de calor. Visto esto, aquellos países que tengan mayor rendimiento en la producción energética, menor será el límite de SPF para considerar que la energía que se utiliza proviene de fuente renovable.

Esta medida tomada, beneficia a España dado que su rendimiento en producción energética es más bajo que el de la media de los países Europeos y al aprobarse esta directiva, España es considerada con el rendimiento de producción energética medio europeo.

Dado que los objetivos del PANER 2010-2020 (Plan de Acción Nacional de Energías Renovables), para 2020, es aumentar en un 90% los datos registrados para 2010 al utilizar sistema Bomba de Calor de SPF alto, según la Directiva 2009/28/CE

que establece que las bombas de calor de SPF alto se puede considerar su consumo proveniente de fuente renovable, se está colaborando con el PANER 2010-2020.

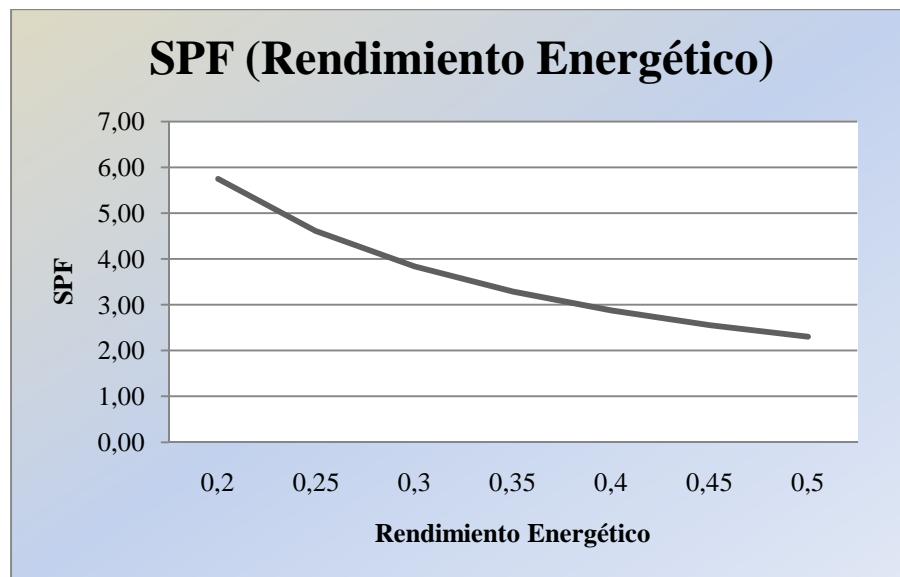


Tabla 4.3. Rendimiento Energético parametrizado

En la tabla 4.3 se observa como el SPF límite varía en función del rendimiento energético como establece la directiva 2009/28/CE. De tal forma los equipos con SPF bajos no ayudarán al PANER 2010-20.

4.4. Conclusiones del estudio realizado sobre el edificio en Teruel.

Las siguientes tablas recogen las conclusiones del presente estudio:

BOMBA DE CALOR							
Local Uso Oficinas				Local Uso 24 horas			
SCOP	COP diario	SEER	EER diario	SCOP	COP diario	SEER	EER diario
2,59	3.33	4.40	3.74	2.60	3.21	4.25	4.05

CALDERA – UNIDAD ENFRIADORA							
Local Uso Oficinas			Local Uso 24 horas				
Caldera	Enfriadora		Caldera	Enfriadora			
Rendimiento	SEER	EER diario	Rendimiento	SEER	EER diario		
40/30°C	75/60°C	3.63	3.12	40/30°C	75/60°C	3.63	3.51
97/108%	95/106%			97/108%	95/106%		

Podemos observar en qué medida, el tipo de uso que se le dé al local (ya sea uso oficinas o uso 24 horas), influye sobre el rendimiento tanto diario como estacional de la Bomba de Calor y el de la unidad enfriadora.

Dado que Teruel pertenece a un clima severo, donde se alcanzan temperaturas extremadamente bajas en invierno y temperaturas no mayores de 35 °C en verano, se obtienen en general peores rendimientos en invierno que en verano, en la tabla anterior se confirma.

		Oficina				Edificio 24 h							
		Bomba 720 Invierno		Bomba 720 Verano		Enfriadora 720		Bomba 840 Invierno		Bomba 840 Verano		Enfriadora 720	
Total kWh/día	% EE RR	Qu	Qer	Qu	Qer	Qu	Qer	Qu	Qer	Qu	Qer	Qu	Qer
2151	1320	1510	1166	1510	1093	3664	2257	1977	1511	1977	1431		
61%		77%		72%		62%		76%		72%			

De la Energía que producimos con la Bomba de Calor en modo verano un 76-77% proviene de fuente renovable.

De la Energía que producimos con la Unidad Enfriadora un 72% proviene de fuente renovable.

De la Energía que producimos con la Bomba de Calor en modo invierno un 61-62% proviene de fuente renovable.

Cabe decir que dicha Energía se considerará renovable en caso de que el SPF de la máquina supere el SPF límite marcado por los datos medios Europeos. No obstante se puede observar en la tabla 4.3 como varía ese SPF límite en función del rendimiento energético.

La recuperación de la inversión para la opción de enfriadora y caldera con respecto a la opción de la bomba de calor es de 4 y 2 años para el edificio oficina y 24 horas respectivamente.

Por tanto, la opción más acertada para instalar en el edificio, tanto en el que tiene uso análogo al de una oficina como el que es de 24 horas, será la enfriadora y la caldera. Dado que se obtienen valores muy bajos de COP para la bomba de calor en invierno y no estaríamos ayudando al PANER 2010-2020 dado que su rendimiento es bastante bajo y para que fuera considerada su energía proveniente de fuente renovable debería cumplirse un rendimiento energético entorno a 0.50, y ni en España ni como media Europea se cumple ese valor. Además el consumo es mucho mayor para la bomba de calor que para la enfriadora y la caldera, haciendo dicha opción más inviable con respecto a esta última.

BIBLIOGRAFÍA

ARTICULOS:

- GEOTERMIA CIATESA (Enero 2009) “Bombas de calor geotérmicas acopladas con el terreno”
- GEOTERMIA CIATESA (Enero 2009) “Sistema integral de eficiencia para climatización de edificios”
- EUROVENT (Junio 2008) “Seasonal Coefficient of Performance of Heat Pumps SCOP Study”

DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DE PRODUCTOS DE LAS SIGUIENTES EMPRESAS:

- ◆ CIATESA (CIAT)
- ◆ TRANE
- ◆ IMMOSOLAR
- ◆ KAYSUN
- ◆ FERROLI
- ◆ HITACHI
- ◆ ROCA YORK
- ◆ CARRIER
- ◆ CLYVET
- ◆ HITECSA

PUBLICACIONES:

- FCO. J REY MARTINEZ. “Bombas de Calor y Energías Renovables en Edificios” *Thomson*.
- ATECYR. “Documento Técnico de Instalaciones en la Edificación (DTIE 3.01) Psicrometría”1996.
- ATECYR. “Documentos Técnicos de Instalaciones en la Edificación (DTIE 8.01) Recuperación de energía en sistemas de climatización”1996.
- “La Bomba de Calor y las Energías Renovables”2001. *IDAE*
- “Documento Técnico de Bomba de Calor”1998. *IDAE*
- “Fundamentos de Climatización”, 2010. *ATECYR*
- PINAZO J. M. “*Manual de Climatización Tomo II: Cargas Térmicas*”. Departamento de Termodinámica Aplicada Universidad Politécnica de Valencia. 2000.
- *Tesis Doctoral: “Validación experimental de los métodos de diseño de instalaciones de bomba de calor acoplada al terreno”*, 2010. *Teresa Magraner Benedicto*
- “Aplicaciones Industriales. La Bomba de Calor”1999. *IDAE*.
- Norma EN 14825: 2008 “*Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps, with electrically driven compressors, for space heating and cooling*”.
- Norma NF EN 14825: 2009 “*Climatiseurs, groupes refroidisseurs de liquide et pompes à chaleur avec compresseur entraîné par moteur électrique pour le chauffage et la réfrigération des locaux*”.
- *Directiva 2009/28/CE*
- *PANER 2010-2020*