

Departamento de Ingeniería Energética y Mecánica de Fluidos

Escuela Superior de Ingenieros

Universidad de Sevilla



PROYECTO FIN DE CARRERA

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN TÉCNICA EN EQUIPOS DE CLIMATIZACIÓN

Inmaculada Martínez Jiménez

Sevilla, diciembre de 2005

A mis padres

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1. El aire acondicionado.....	5
1.2. Objetivo y alcance del proyecto.....	6
1.2.1. Objetivo.....	6
1.2.2. Alcance.....	8
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	10
2.1. El ciclo frigorífico.....	10
2.1.1. Ciclo de Carnot. Definiciones.	10
2.1.2. Ciclo estándar.....	12
2.1.3. Ciclo real. Irreversibilidades.....	16
2.1.3.1. Sobrecalentamiento.....	17
2.1.3.2. Subenfriamiento.....	18
2.2. Gases refrigerantes.....	19
2.3. Diagrama P-h.....	23
2.4. Componentes del ciclo.....	24
2.4.1. Compresor.....	24
2.4.1.1. Compresores alternativos.....	26
2.4.1.2. Compresores de paletas.....	29
2.4.1.3. Compresor de espiral o scroll.....	30
2.4.1.4. Compresores de tornillo o screw.....	32
2.4.1.5. Compresores de excéntrica.....	33
2.4.1.6. Compresores centrífugos.....	35
2.4.2. Evaporador.....	35
2.4.2.1. Tipos de evaporadores.....	36

2.4.3. Condensador.....	41
2.4.3.1. Clasificación de condensadores.....	41
2.4.4. Sistemas de expansión.....	45
2.4.4.1. Tipos de válvulas de expansión.....	45
2.5. Enfriadores de aire. Propiedades del aire húmedo.....	48
2.5.1. Transformación de un estado a otro.....	52
2.5.2. Tipos de enfriamiento.....	54
2.5.3. Temperatura de ADP y factor de Bypass.....	55
2.5.4. Ventiladores.....	57
3. EQUIPOS DE CLIMATIZACIÓN.....	57
3.1. Clasificación de equipos de aire acondicionado.....	57
3.1.1. Diferencias entre los equipos autónomos y los equipos centralizados.....	58
3.1.2. Clasificación de los equipos autónomos o de expansión directa.....	59
3.1.3. Equipos de expansión indirecta. La enfriadora de agua.....	65
3.2. La bomba de calor.....	66
3.2.1. Válvula de cuatro vías.....	67
3.3. Condiciones Eurovent.....	69
3.3.1. Etiquetado de eficiencia energética.....	73
3.4. Modos de control en equipos de climatización.....	75
3.5. Tecnología Inverter.....	76
3.6. Sistemas de Volumen de Refrigerante Variable.....	77
3.6.1. Introducción a los sistemas de caudal variable de refrigerante.....	77
3.6.2. Tipos de unidades de caudal variable de refrigerante	78
3.6.3. Funcionamiento de los sistemas de caudal variable de refrigerante.....	79

3.6.4. Diferencias del sistema Multi-Split Inverter frente al sistema de caudal variable de refrigerante.....	81
3.6.5. El sistema de caudal variable de refrigerante con recuperación de calor.....	84
3.6.6. Ventajas e inconvenientes de los equipos VRV	85
4. ENFRIADORAS DE AGUA.....	87
4.1. Casos estudiados.....	96
4.2. Datos de los catálogos.....	97
4.2.1. Catálogo de la enfriadora de agua modelo 30RH120B de Carrier.....	97
4.2.2. Catálogo de la enfriadora de agua modelo EUWY040BZ6Y de Daikin.....	103
4.2.3. Catálogo de la enfriadora de agua modelo RHUE40AG de Hitachi.....	107
4.3. Comparación de datos disponibles en los catálogos.....	113
4.4. Representación de datos.....	115
4.4.1. Modelo 30RH120B de Carrier.....	115
4.4.2. Modelo EUWY040BZ6Y de Daikin.....	126
4.4.3. Modelo de RHUE40AG de Hitachi.....	135
4.5. Resultados y comparación de datos.....	143
5. EQUIPOS AUTÓNOMOS REVERSIBLES.....	152
5.1. Equipos autónomos reversibles condensados por aire de 12 kW.....	157
5.1.1. Casos estudiados.....	157
5.1.2. Datos de los catálogos.....	157
5.1.2.1. Catálogo del equipo 50YZ048 de Carrier.....	157
5.1.2.2. Catálogo del equipo FHYBP125B + RYP125L7 de Daikin.....	161

5.1.2.3.	Catálogo del equipo RPI5HG7E + RAS5HG7E de Hitachi.....	165
5.1.3.	Comparación de datos disponibles en los catálogos.....	170
5.1.4.	Representación de datos.....	171
5.1.4.1.	Modelo 50YZ048 de Carrier.....	171
5.1.4.2.	Modelo FHYBP125B + RYP125L7 de Daikin.....	182
5.1.4.3.	Modelo RPI5HG7E + RAS5HG7E de Hitachi.....	189
5.1.5.	Resultados y comparación de datos.....	196
5.2.	Equipos autónomos reversibles condensados por aire de 3 kW.....	203
5.2.1.	Casos estudiados.....	203
5.2.2.	Datos de los catálogos.....	204
5.2.2.1.	Catálogo del equipo 40SMC012 + 38BH012G de Carrier.....	204
5.2.2.2.	Catálogo del equipo FQ35B(FFQ35B + RXS35B) de Daikin ..	207
5.2.3.	Comparación de datos disponibles en los catálogos.....	210
5.2.4.	Representación de datos.....	211
5.2.4.1.	Modelo 40SMC012 + 38BH012G de Carrier.....	211
5.2.4.2.	Modelo de FQ35B(FFQ35B + RXS35B) de Daikin.....	220
5.2.5.	Resultados y comparación de datos.....	229
5.3.	Estudio del Factor de Bypass y Temperatura de ADP.....	237
5.3.1.	Variación del Factor de Bypass y de la temperatura de ADP respecto la temperatura interior.....	240
5.3.2.	Variación del Factor de Bypass y de la Temperatura de ADP respecto la temperatura exterior.....	254

6. CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS.....264

ANEXO: TABLAS DE CARACTERÍSTICAS DE EQUIPOS DE CLIMATIZACIÓN

BIBLIOGRAFIA

1. INTRODUCCIÓN

1.1 El aire acondicionado

El calor y el frío que el hombre siente dependen no solo de la temperatura del aire, sino también de la humedad y de la distribución del propio aire. La zona donde el hombre siente confort se representa en la siguiente figura, en temperatura oscila entre 20 y 30 °C y humedad relativa entre 35 y 65% aproximadamente.

A parte de estos valores aproximados, hay que tener en cuenta que el confort depende de factores diversos como: sexo, edad, vestimenta y tipo de trabajo que se realice.

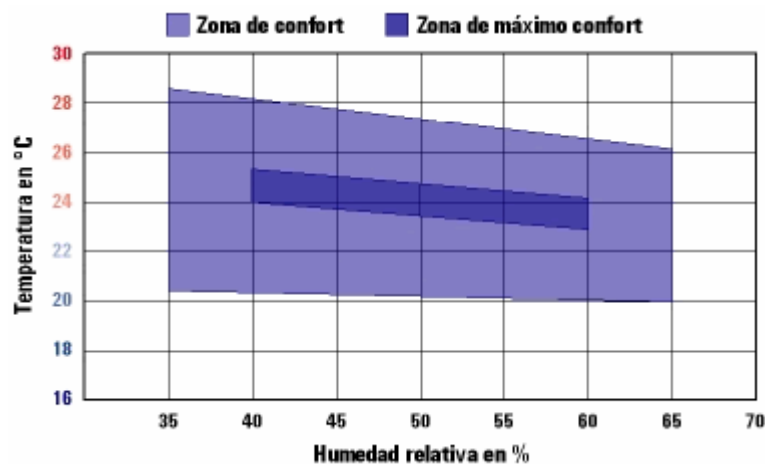


Figura 1.1: Zonas de confort en función de la humedad relativa y temperatura

Si se sale de esta zona el ser humano tendrá una cierta sensación de malestar, debido a que no existirá equilibrio térmico entre su cuerpo y el ambiente que le rodea. Para solucionar este problema se recurre a la climatización.

La climatización se define como el proceso de tratamiento del aire tal que se controlan simultáneamente su temperatura, humedad, limpieza y distribución para responder a las exigencias del espacio climatizado.

La humedad, se refiere a la cantidad de agua contenida en el aire y se controla para mantener la humedad relativa preestablecida mediante la humidificación o deshumidificación del aire ambiente.

Para obtener el confort deseado, es necesario que el aire sea distribuido y circule uniformemente por todo el recinto, sin producir corrientes desagradables.

A parte, la eliminación de las partículas de polvo es fundamental para la salud, por eso conseguir un adecuado filtraje de aire es una labor básica de un equipo de aire acondicionado.

Al igual que el filtrado, la ventilación ocupa un lugar importantísimo en la calidad del aire, gracias a ella, se consigue que el aire esté libre de partículas químicas que existan en el ambiente.

Un sistema de climatización, por tanto, puede definirse como el conjunto de componentes y equipos conectados convenientemente para cumplir las siguientes funciones:

- Suministrar la energía calorífica o frigorífica necesaria.
- Acondicionar el aire:
 - Calentar o enfriar
 - Humidificar/ Deshumidificar
 - Filtrar y ventilar.
 - Atenuar los ruidos
- Transportar y distribuir el aire a los locales.
- Controlar y mantener ciertos parámetros dentro de unos límites:
 - Temperatura, humedad y velocidad del aire.
 - Calidad de aire interior: nivel acústico, nivel olfativo, presurización, ventilación, etc.

Los sistemas de climatización pueden clasificarse de distintas formas. Pueden ser autónomos o centralizados, condensados por aire o por agua, etc. Estas clasificaciones y descripciones de los equipos se estudiarán a lo largo del proyecto.

1.2. Objetivo y alcance del proyecto

1.2.1. Objetivo

A la hora de la selección de un equipo de climatización, si se busca información sobre algún equipo, se recurren a los catálogos técnicos. En estos catálogos deberían de encontrarse todos los datos necesarios para que el equipo seleccionado sea el más

conveniente según la aplicación que se le vaya a dar, condiciones climatológicas en las que vaya a funcionar, etc.

A parte de esto, es interesante poder hacer comparaciones entre diferentes modelos, para ver cual es el que le conviene más a la instalación que se vaya a realizar.

A veces, por ejemplo, se puede escoger un equipo porque tenga rendimiento elevado, pero este rendimiento ha sido medido condiciones nominales, con unas determinadas condiciones de temperatura. Si cuando el equipo está instalado, la temperatura que normalmente existe en el exterior es distinta a la nominal, puede ser que el rendimiento varíe mucho y que hubiese interesado escoger otro equipo con un rendimiento quizás menor en condiciones nominales, pero más estable en temperaturas, lo que hará que a la temperatura que está funcionando tenga mejor rendimiento.

En el caso del ejemplo, se hace una comparación del rendimiento para la selección del equipo, pero al igual que se hace esta comparación, se pueden comparar potencias, consumos, etc.

El objetivo primordial que tiene el proyecto es el análisis de la información técnica que hay en los catálogos. En este proyecto, se pretende ver si los catálogos dan la información necesaria para la selección de un equipo adecuado o si deberían añadir alguna más. Si estos datos son factibles y si con estos datos es posible hacer una comparación entre distintos modelos y escoger adecuadamente el equipo o por el contrario, cada modelo dependiendo de la marca que sea, da unos datos diferentes haciendo imposibles las comparaciones. Para poder hacer comparaciones es necesario entender todos los datos, se comprobará también si se sabe a qué corresponde claramente cada dato. Por tanto, se comprobará si hay unificación y claridad en los catálogos.

Otro aspecto que se verá son las características que se conocen fuera de las condiciones nominales en los catálogos y si viene claramente definida a qué se refieren.

Un aspecto fundamental es conocer el consumo real de los equipos, este consumo se consigue si se conoce el comportamiento de los equipos a carga parcial. Se verá si estos datos se conocen o no.

Se estudiarán también los puntos de temperatura en los que se dan datos fuera de las condiciones nominales, etc.

Con todo esto se realizarán comparaciones dentro de las posibilidades que ofrecen los datos aportados y se realizará una valoración crítica de los catálogos técnicos en general

viendo si los datos que se dan son suficientes o necesitan algunos cambios para el buen uso de los catálogos.

1.2.2. Alcance

Para el desarrollo del objetivo indicado anteriormente es necesario el estudio de equipos de climatización que existan en el mercado.

A lo largo del proyecto, se indican qué datos son los que dan en los catálogos, cuáles son los datos que difieren según la marca que sea el equipo, si estos datos se entienden y si coinciden con los que define Eurovent.

Para poder hacer comparaciones entre los equipos, el procedimiento realizado es representar los datos suministrados en las tablas de capacidades, es decir, se representan las tendencias de las capacidades, consumos de los equipos y eficiencias con las temperaturas, tanto exterior como interior.

Con estos datos se pueden calcular las tasas de variación de cada características y analizar como varía cada equipo fuera de las condiciones nominales.

Otra parte del proyecto se trata hallar el factor de bypass y la temperatura de ADP de los equipos y ver su evolución con la temperatura.

Debido a la gran cantidad de marcas y modelos que se pueden recoger, resulta imposible el estudio de todos los catálogos que hay en el mercado, por eso este proyecto se centra en los catálogos de los equipos de tres marcas: Carrier, Daikin e Hitachi.

Dentro de estas marcas se selecciona para cada una de ellas, una enfriadora de agua de potencia frigorífica lo más próximo a 100 kW y un equipo autónomo reversible condensado por aire próximo a 12 kW y próximo a 3kW. En estos equipos es donde se realiza el estudio.

A parte, el proyecto viene acompañado por un Anexo donde se recopila la información de los catálogos de todos los equipos que tienen estas tres marcas y según el equipo que sea, se recogerán una serie de datos concretos. La clasificación que se hace de los equipos en el Anexo es la siguiente.

- Equipos autónomos, solo frío.
 - Condensado por aire, tipo pared.
 - Condensado por aire, tipo suelo-techo.
 - Condensado por aire, tipo cassette.

- Condensado por aire, tipo conductos.
- Equipos autónomos, reversibles.
 - Condensado por aire, tipo pared.
 - Condensado por aire, tipo suelo-techo.
 - Condensado por aire, tipo conductos.
 - Condensado por aire, tipo cassette.
 - Condensado por agua, compactos, de conductos.
 - Condensado por agua, partido y de pared.
- Equipos Multi- Splits.
 - Equipos Multi-Splits reversibles.
 - Equipos Multi-Splits solo frío.
- Enfriadoras de agua.
 - Enfriadoras de agua, solo frío, condensadas por aire.
 - Enfriadoras de agua, solo frío, condensadas por agua.
 - Enfriadoras de agua, reversibles, condensadas por aire.
 - Enfriadoras de agua, reversibles, condensadas por agua.
- Equipos de caudal variable de refrigerante (CRV).

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. El ciclo frigorífico

2.1.1. Ciclo de Carnot. Definiciones.

La máquina frigorífica de Carnot toma calor de un foco frío a temperatura T_f y tras un aporte de trabajo externo, cede calor a un foco caliente a temperatura T_c .

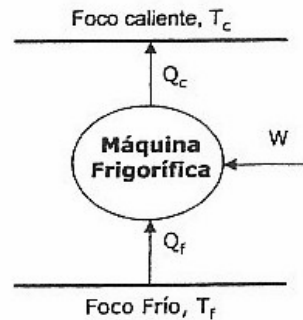


Figura 2.1: Máquina frigorífica de Carnot.

En el Ciclo de Carnot representado en un diagrama Temperatura-Entropía, se puede apreciar el trabajo que hay que aportar y el efecto frigorífico que se obtiene:

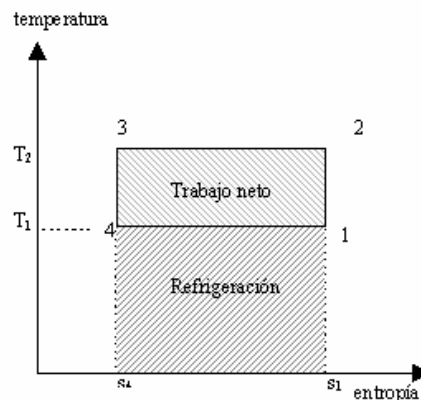


Figura 2.2 : Diagrama Temperatura –Entropía del Ciclo de Carnot.

Los procesos que tienen lugar durante el ciclo son:

- Proceso 1-2: Compresión isentrópica (adiabática y reversible).
- Proceso 2-3: Transformación isoterma, una expulsión de calor a temperatura constante.
- Proceso 3-4: Expansión isentrópica.
- Proceso 4-1: Transformación isoterma, absorción de calor.

Estos cuatro procesos que componen el ciclo de Carnot son termodinámicamente reversibles. La absorción de calor se lleva a cabo a través de un evaporador, y la expulsión de calor al exterior se lleva a cabo a través de un condensador.

En la siguiente figura se representa el ciclo propio de refrigeración.

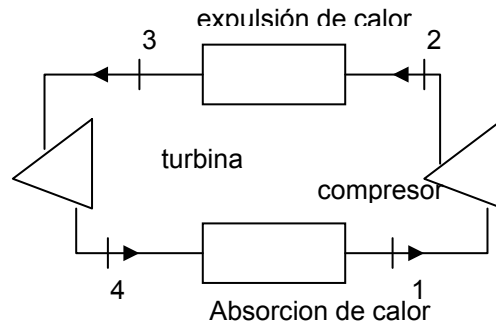


Figura 2.3. Ciclo de refrigeración de Carnot.

El objetivo del ciclo es la absorción de calor y como consecuencia el enfriamiento de la fuente a baja temperatura. Al ser los cuatro procesos que lo integran reversibles, la eficiencia de este ciclo es más alta que la que se encuentra en su proceso real. De este ciclo, el dato más importante que se puede obtener es que proporciona la eficiencia mayor operando entre dos temperaturas dadas.

En el ciclo frigorífico, para medir la eficiencia se define el COP (Coefficient of performance), como el cociente entre el efecto frigorífico útil y la potencia empleada para conseguirlo. La eficiencia es mayor cuanto mayor es el COP ya que, dada una cierta refrigeración útil deseada, cuanto mayor sea el COP del ciclo menor será la potencia requerida.

$$COP = \frac{Q_f}{P_c}$$

donde:

Q_f es la potencia frigorífica

P_c es la potencia absorbida por el compresor.

En el ciclo de Carnot sin irreversibilidades, se cumple:

$$COP = \frac{T_f}{T_c - T_f}$$

donde:

T_f , indica la temperatura del foco frío.

T_c , indica la temperatura del foco caliente.

Por tanto, el COP aumentará, cuando la temperatura del foco frío (temperatura de evaporación) aumente.

2.1.2 Ciclo estándar

El ciclo de Carnot, tal como se ha descrito anteriormente y representado en un diagrama Temperatura –entropía, queda como indica la siguiente figura. Se puede observar que los procesos tienen lugar en la zona de vapor húmedo.

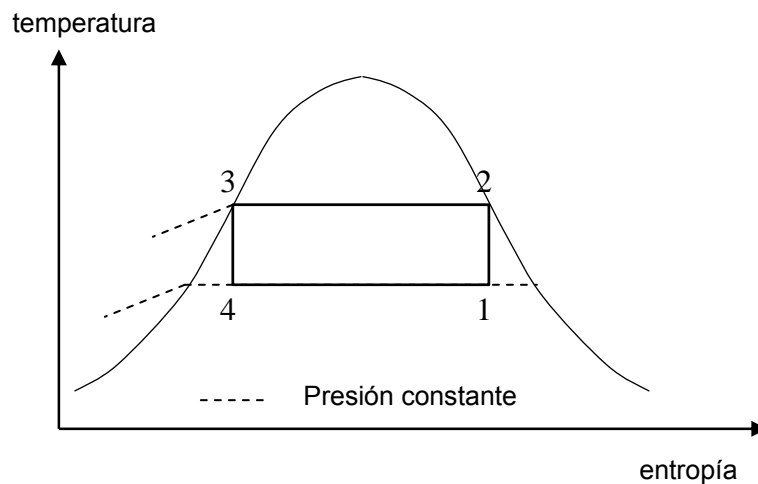


Figura 2.4: Ciclo de refrigeración sobre un diagrama presión entropía.

El ciclo estándar de refrigeración se consigue a través de las revisiones del ciclo de Carnot, las cuales dan un ciclo más próximo al comportamiento real.

Las diferencias que presenta este ciclo con el de Carnot son las siguientes:

- Las temperaturas de evaporación y de condensación no coinciden con las de los focos frío y caliente.

Para que se pueda realizar una transferencia de calor, en los procesos reales es necesario que exista una diferencia de temperaturas entre los dos medios que están intercambiando calor. Lo que quiere decir esto, es que la temperatura del foco frío debe ser algo mayor que la temperatura de evaporación y la temperatura de condensación deberá ser algo mayor que la del foco caliente para que se produzcan los flujos de calor correspondientes.

A diferencia del ciclo de Carnot, ambos procesos son irreversibles. Esto, además, establece unos límites en los valores que pueden tomar estas temperaturas, limitando así el valor máximo del COP.

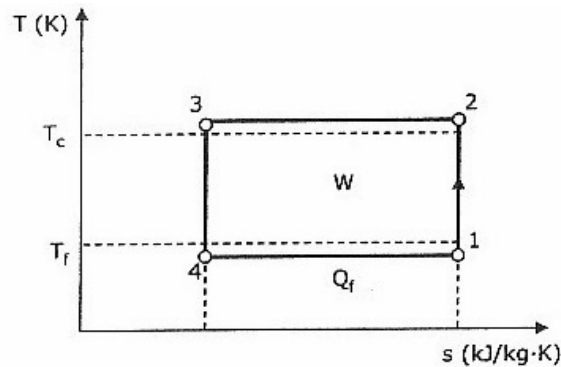


Figura 2.5: Diagrama Temperatura-Entropía del Ciclo de refrigeración

- La expansión no es isentrópica, sino isentálpica. En la expansión del ciclo de Carnot aparecería una turbina, la cual produciría el trabajo necesario para mover el compresor. Esto en realidad no ocurre así por diversos motivos:
 - El trabajo obtenido es pequeño en comparación con el necesario para mover el compresor.
 - Aparecen dificultades en la lubricación al realizarse en la zona bifásica.
 - El ahorro producido por el trabajo obtenido no justifica el coste de implantación de la turbina.

Por tanto, en vez de utilizar una turbina se utiliza un estrangulamiento o válvula, que produce un cambio energía cinética y potencial sin cambio de calor, lo que da lugar a un proceso isentálpico irreversible. En la figura siguiente se observa la transformación 3-4 descrita.

- Al proceso de compresión 1-2 de la figura, se le llama compresión húmeda porque ocurre por completo en la zona bifásica, en la que coexisten el vapor y el líquido.

En un proceso de compresión real la presencia de estas gotas de líquido no es técnicamente admisible. En los compresores alternativos, por ejemplo, cuando sube el pistón, el líquido se puede quedar atrapado en la parte superior del cilindro dañando las válvulas. Además las gotas de líquido pueden arrastrar el aceite de lubricación de las paredes del cilindro acelerando el desgaste del mismo. Estos inconvenientes hacen

necesario que la compresión se produzca en la zona de vapor sobrecalentado, así el fluido entra en el compresor como vapor saturado y sale como vapor sobrecalentado.

El ciclo, por tanto, pierde su forma rectangular, aumentando su área interior y consecuentemente el trabajo neto requerido.

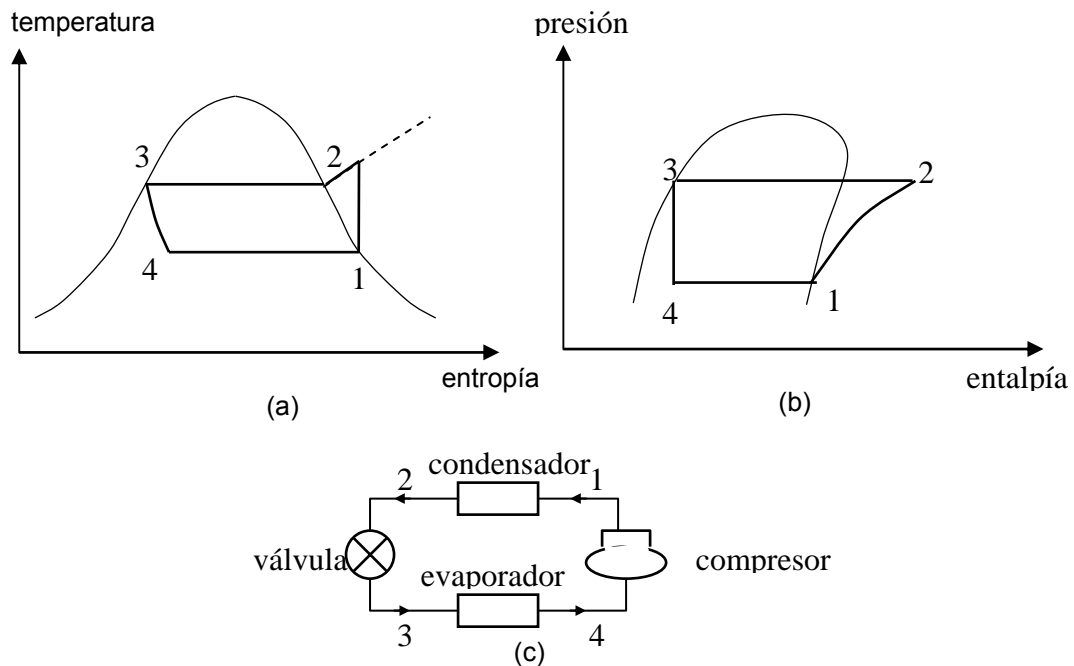


Figura 2.6: Ciclo estándar de refrigeración vapor compresión. (a) sobre un diagrama temperatura-entropía, (b) sobre un diagrama presión- entalpía, (c) diagrama de flujo.

Cada uno de los cambios que sufre el refrigerante es llamado “proceso” y se lleva a cabo en un dispositivo especial. Los procesos están relacionados entre sí porque cualquier cambio que se realice en alguno de los procesos del ciclo produce cambios en los demás.

Los componentes que integran el ciclo y realizan cada uno de estos procesos, son:

- 1-2. Compresor: compresión reversible y adiabática (isentrópica), desde vapor saturado hasta la presión de condensación.
- 2-3. Condensador: expulsión de calor a presión constante, desde la salida del compresor hasta líquido saturado.
- 3-4. Válvula: expansión irreversible a entalpía constante, desde el líquido saturado hasta la presión de evaporación.

4-1. Evaporador: absorción de calor a presión constante, desde la zona bifásica hasta el vapor saturado.

En el ciclo estándar se realizan los siguientes balances energéticos:

- Respecto al proceso de evaporación

Potencia frigorífica: Cantidad de calor extraída de la fuente fría.

$$Q_f = m_r (h_1 - h_4); \text{ en kW}$$

Efecto refrigerante: Incremento de entalpía del refrigerante en el evaporador.

$$E_r = (h_1 - h_4); \text{ en kJ/kg}$$

donde:

m_r es el caudal másico en kg/s

h_1 es la entalpía en la salida del evaporador, en kJ/kg

h_4 es la entalpía en la entrada del evaporador, en kJ/kg

- Respecto el compresor

Potencia de compresión. $P_c = m_r (h_2 - h_1); \text{ en kW}$

Trabajo de compresión. $W_c = h_2 - h_1; \text{ en kJ/kg}$

donde:

h_2 es la entalpía en la salida del compresor, en kJ/kg

h_1 es la entalpía en la entrada del compresor, en kJ/kg. Esta entalpía es la misma que la de salida del evaporador.

La potencia de compresión es la potencia mínima para mover el compresor. En la realidad nunca se llega a alcanzar este estado.

El volumen de gas teórico que circula por el compresor en unidad de tiempo, depende de la cantidad de frío que suministra la instalación y de las condiciones de operación. Viene dado por:

$$\dot{v}_r = m_r \times v_1; \text{ en m}^3/\text{s}$$

donde v_1 es el volumen específico en el punto 1, en m^3/kg . El punto 1 como ya se ha indicado es el punto de salida del evaporador o entrada al compresor.

- Eficacia del ciclo: Cociente entre el calor extraído y el trabajo de compresión realizado.

$$COP = \frac{Q_f}{P_c} = \frac{E_r}{W_c}$$

donde:

Q_f es la potencia frigorífica

P_c es la potencia de compresión

E_r es el efecto refrigerante

W_c es el trabajo de compresión.

2.1.3 Ciclo real. Irreversibilidades

En realidad los procesos no ocurren como los descritos anteriormente, ya que las máquinas térmicas poseen distintas limitaciones, como pueden ser: pérdidas de carga a lo largo del circuito, la irreversibilidad de la expansión, la imposibilidad de realizar la compresión de manera isentrópica y diferencias de temperaturas en los intercambios. A parte de estos, existen otros fenómenos como el recalentamiento del vapor a la salida del evaporador y el subenfriamiento del líquido a la salida del condensador, que hacen que el ciclo adopte un comportamiento más real.

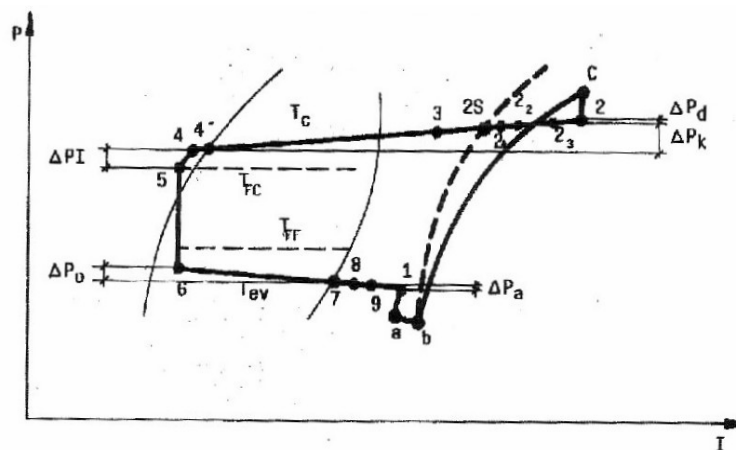


Figura 2.7: Diagrama entálpico del ciclo real.

Los procesos que ocurren se indican a continuación:

1-a: Pérdida de carga en la válvula de aspiración del compresor.

a-b: Calentamiento debido a la transmisión de calor desde el cilindro:

b-c: Compresión real no isentrópica.

c-2: Pérdida de carga en válvula la de escape del compresor.

2-3: Enfriamiento y pérdida de carga en tuberías de descarga.

3-4: Evolución den el condensador con su pérdida de carga

4-4': Subenfriamiento en el condensador.

4-5: Transferencia de calor y pérdida de carga en tuberías.

5-6: Expansión isentálpica en la válvula.

6-8: Evolución en el condensador.

7-8: Sobrecalentamiento útil en el evaporador.

8-9: sobrecalentamiento en la línea de aspiración.

ΔP_k : Pérdida de carga en el condensador.

ΔP_o : Pérdida de carga en el evaporador.

ΔP_a : Pérdida de carga en tuberías de aspiración.

ΔP_d : Pérdida de carga en tuberías de descarga.

ΔP_l : Pérdida de carga en tuberías de líquido.

2.1.3.1. Sobrecalentamiento

Cuando el refrigerante sale del evaporador, se supone que llega a la entrada del compresor como vapor saturado. Como precaución, y para evitar golpes de líquido en el compresor es conveniente que exista un cierto grado de sobrecalentamiento del vapor.

Este sobrecalentamiento, se produce bien en el tramo final del evaporador o bien en la línea de aspiración del compresor. Si la tubería de aspiración no está en contacto con el elemento a enfriar, no produce enfriamiento útil. Para evitar esto, es preceptivo el aislamiento de la tubería.

El rendimiento del sistema, el COP, se define como el cociente de la potencia frigorífica y del trabajo de compresión. Por tanto, su valor oscilará dependiendo de estas dos

magnitudes. Si el calor del recalentamiento se toma del medio a enfriar puede aumentar la potencia frigorífica.

Como el volumen específico del vapor sobrecalentado es mayor, aumenta el caudal volumétrico que tiene que mover el compresor. En el diagrama P-h las curvas de compresión isoterma disminuyen cada vez más su pendiente a medida que aumenta la temperatura de entrada al compresor, con el consiguiente aumento de la potencia de compresión necesaria.

Por tanto, aunque se produce un aumento de la potencia frigorífica, aumenta más la potencia del compresor, lo que hace que el sobrecalentamiento sea un efecto negativo para el COP.

2.1.3.2. Subenfriamiento

Cuando el refrigerante es subenfriado a la salida del condensador, se aumenta el efecto refrigerante por unidad de masa de fluido refrigerante. Por tanto, el caudal necesario de refrigerante disminuye. Así, con el mismo trabajo de compresión se puede obtener más potencia frigorífica mejorando el rendimiento del ciclo.

El subenfriamiento puede ser consecuencia de un condensador sobredimensionado. Se puede aprovechar el tramo de tubería a la salida de éste, dejándola sin aislamiento, para producir el efecto.

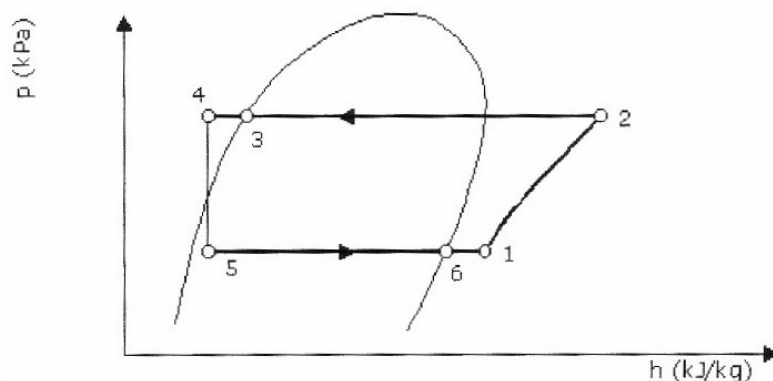


Figura 2.8: Diagrama P-h con Sobrecalentamiento y Subenfriamiento.

Para aprovechar conjuntamente los dos fenómenos, el de subenfriamiento y el de sobrecalentamiento se dispone de un intercambiador intermedio (generalmente de doble tubo a contracorriente) entre los gases a la salida del evaporador y el líquido a la salida del condensador.

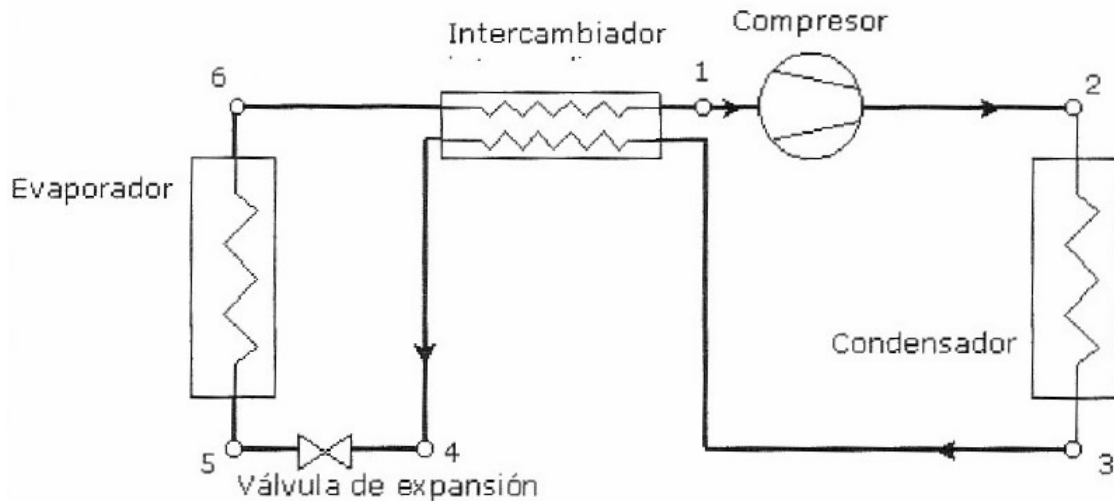


Figura 2.9: Esquema de ciclo frigorífico con intercambiador intermedio.

2.2 Gases Refrigerantes

Para elegir el refrigerante adecuado hay que tener en cuenta la legislación al respecto, las propiedades físico-químicas, ambientales y tipo de instalación donde se va a utilizar.

Los refrigerantes se pueden clasificar según si enfrían directamente el objeto a enfriar o no. Así quedan:

- Refrigerantes primarios: Absorben calor a bajas condiciones de presión y temperatura cediéndole este calor a temperaturas y presión más elevadas. Durante este proceso el fluido refrigerante cambia de estado.
- Refrigerantes secundarios: Estos refrigerantes transfieren la energía térmica al refrigerante primario. Por ejemplo: Agua, Salmueras, Glicoles.

Desde el punto de vista de su composición química, se clasifican en:

- Inorgánicos
- Orgánicos: hidrocarburos y derivados oxigenados, nitrogenados o halogenados. Los halogenados se clasifican en:

CFC, tienen cloro, flúor y carbono. Ejemplos de estos refrigerantes son R-11 y R-12.

- HCFC, tienen cloro, flúor, carbono y a parte hidrógeno. Un ejemplo de estos refrigerantes puede ser R-22.

- HFC, flúor, carbono e hidrógeno. Estos refrigerantes son los más interesantes ya que no contienen cloro y por tanto, no dañarán la capa de ozono. Ejemplos son R-407C, R-410^A y R-134A

- PFC

Según la mezcla que formen:

- Mezcla Azeotrópica. Los componentes que forman la mezcla tienen el mismo comportamiento que una sustancia pura.

- Mezcla Zeotrópica. Dependiendo de la temperatura de evaporación considerada, cambiará mucho la composición de la mezcla.

En las mezclas azeotrópicas ya se ha comentado que tiene un comportamiento parecido al de una sustancia pura, por tanto, el cambio de fase ocurre a temperatura constante. Sin embargo en las mezclas zeotrópicas, el cambio de fase no ocurre a temperatura constante, es decir, en el proceso de evaporación la temperatura de entrada al evaporador es distinta a la temperatura de salida del evaporador, lo mismo ocurre en el proceso de condensación. A la diferencia entre la temperatura de salida y de entrada se le llama deslizamiento.

En los refrigerantes formados por mezclas zeotrópicas, las líneas de temperatura constante no son horizontales en la zona de líquido vapor, sino que estarán un poco inclinadas.

El comportamiento de las mezclas zeotrópicas se entiende mejor observando la siguiente figura, en la cual se ha representado un diagrama a una presión dada el cambio de fase del refrigerante R-410A. Este refrigerante está compuesto por el 50% de R-32 y el 50% de R-125, el componente R-32 es más volátil que el R-125.

En el diagrama, el eje de abscisas representa el porcentaje de R-32 que tiene el refrigerante, el eje de ordenada es la temperatura, la curva superior es la línea de temperatura del punto de rocío y la línea inferior es la línea del punto de burbuja. Tomando la mezcla del 50% de R-32, se obtiene la temperatura a la que empieza a hervir la mezcla (T_1), y la temperatura en la que todo es vapor (T_2). A parte, si se toma una temperatura T , entre las dos temperatura T_1 y T_2 anteriores, el refrigerante tendrá

una parte de vapor y una de líquido. En esta temperatura T , hay más composición $C2$ del componente que se está evaporando, R-32, y menos composición del R-125 ($C1$), que todavía es líquido. Por tanto, como se explicó antes, evapora primero el más volátil.

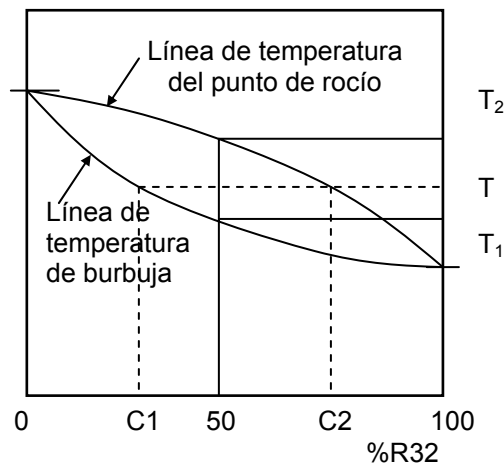


Figura 2.10: Esquema del diagrama e la zona bifásica del refrigerante R410A

Entre las mezclas zeotrópicas y las azeotrópicas, se encuentran las mezclas casi zeotrópicas, en estas mezclas el grado de deslizamiento es muy pequeño, en torno a los 0.5 K.

Las mezclas zeotrópicas presentan de desventajas con respecto a las azeotrópicas, que en el caso de problemas como puede ser alguna fuga del sistema, escapará primero el componente más volátil, desequilibrando la composición de la mezcla.

Según la presión de trabajo se clasifican en:

- Baja presión, a presión atmosférica su temperatura de ebullición es alta, superior a 20°C
- Media presión, a presión atmosférica su temperatura de ebullición está comprendida entre 20°C y -30°C
- Alta presión, a presión atmosférica su temperatura de ebullición es baja, entre -30°C y -80°C .
- Muy alta presión, a presión atmosférica su temperatura de ebullición es muy baja, inferior a -80°C .

Anteriormente en instalaciones residenciales y comerciales de aire acondicionado se utilizaba refrigerante R-22. Su composición viene dada por un HCFC (hidroclorofluorocarburo), Este refrigerante por tener un cierto contenido de cloro afectan a la capa de ozono. Es inodoro, ininflamable e incombustible y su temperatura de ebullición en °C a presión normal es de - 40,6.

Los sustitutos a lo largo del tiempo del R-22 han sido refrigerante HFC, cada uno de ellos tienen distintas peculiaridades, algunas de ellas son:

- R-410A

Al ser un HFC no produce ningún daño a la capa de ozono. Es una mezcla de 50% R-32 y 50% R125. Tiene un elevado rendimiento energético, es una mezcla casi zeotrópica y por lo tanto facilita ahorros en los mantenimientos futuros. No es tóxico ni inflamable y es reciclable y reutilizable. El inconveniente que presenta este refrigerante es que se usa a alta presión.

- R-407C

Este refrigerante tampoco produce ningún daño a la capa de ozono. Posee propiedades termodinámica muy similares al R-22.

Está formado por una mezcla zeotrópica de tres gases R-32, R-125 y R-134a. El problema que presenta este refrigerante es debido a ser una mezcla zeotrópica ya que presenta deslizamiento. Los problemas de mantenimiento que lleva asociados a este es que si se precisa reemplazar un componente frigorífico o se produce una rotura de uno de ellos, el sistema se debe purgar completamente. Una vez reparado el circuito y probada su estanqueidad, se rellenará de nuevo ,cargando refrigerante con la composición original.

- R-134a

No produce ningún daño a la capa de ozono y es una mezcla azeotrópica.

Es ampliamente usado en otras industrias: aire acondicionado en automóviles, frigoríficos, propelente de aerosoles farmacéuticos.

El problema que presenta este refrigerante es que tiene un alto caudal volumétrico, por lo que su aplicación es complicada ya que necesita grandes equipos con compresores de tornillo o centrífugos de gran capacidad.

2.3. Diagrama P-h

Todos los refrigerantes que normalmente se emplean para el ciclo de vapor-compresión exhiben características similares, aunque los valores numéricos de las propiedades varían de un refrigerante a otro.

El diagrama de presión-entalpía es el medio de representación de las propiedades termodinámicas más común empleado en refrigeración, ya que la entalpía es una de las propiedades más importantes y la presión puede ser determinada fácilmente. La condición del refrigerante en cualquier estado termodinámico queda definida por un punto en este diagrama, conociendo dos propiedades se pueden obtener de la gráfica las demás.

Además, de las líneas de vapor saturado, líquido saturado y el punto crítico, aparecen las líneas de temperatura, entropía, volumen específico y calidad de vapor constantes.

Las líneas de temperatura constante son horizontales en la zona bifásica porque la temperatura debe corresponder con la presión de saturación. En la zona de líquido subenfriado estas líneas son prácticamente verticales, paralelas a las líneas de entalpía constante y en la zona de vapor sobrecalentado caen primero levemente hacia la derecha y después casi verticalmente.

Las líneas rectas que se extienden diagonalmente y cruzan casi verticales la región de vapor sobrecalentado son las de entropía constante.

Las curvas que cruzan la región de vapor sobrecalentado con una pequeña pendiente positiva son las de volumen específico.

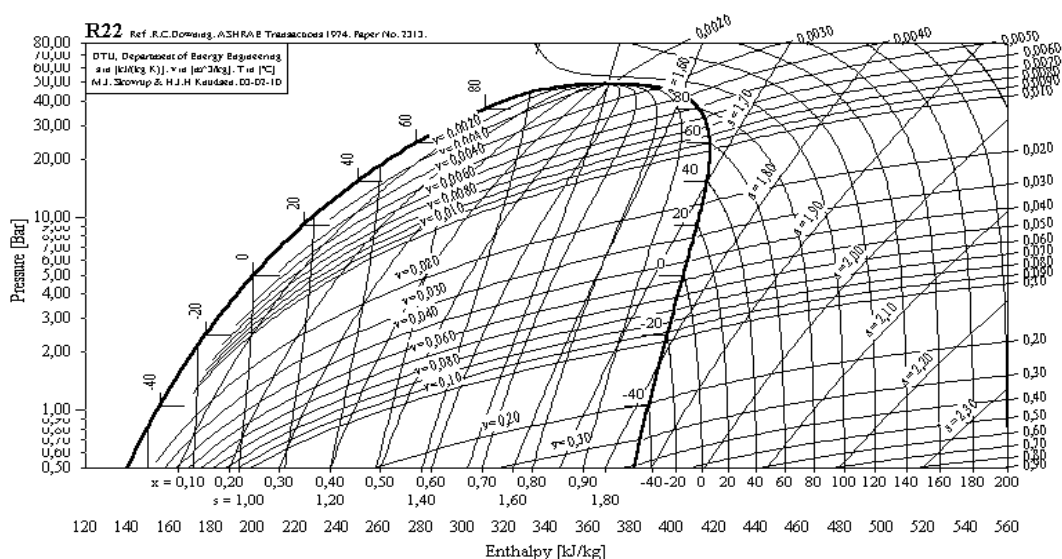


Figura 2.11: Diagrama presión-entalpía del refrigerante R22

2.4. Componentes del ciclo

2.4.1. Compresor

El compresor sube la presión del gas refrigerante a la salida del evaporador, y en consecuencia la temperatura a valores adecuados para que se lleve a cabo a continuación la condensación. Además, mantiene la circulación del refrigerante a lo largo del circuito de refrigeración.

Para evitar las pérdidas de refrigerante se deben tomar medidas de estanqueidad.

Los compresores según su tipo de montaje se clasifican en:

- Hermético:

El motor del compresor está montado en la misma carcasa cerrada que el compresor. Se usan en ciclos de baja potencia. En el interior de la carcasa nos encontramos el compresor alternativo de pistón, el motor eléctrico y el aceite.

Alguna de sus ventajas son que tienen bajas fugas de refrigerante y que el motor eléctrico está refrigerado con la temperatura de evaporación.

Las desventajas más significativas son que si se rompiese algún elemento, hay que romper el compresor por la mitad para poder abrirlo. A parte, hay que tener cuidado con la relación refrigerante- motor eléctrico, ya que por ejemplo, el amoníaco corroe el Cu y para utilizar NH_3 el debanado debe ser de Al.

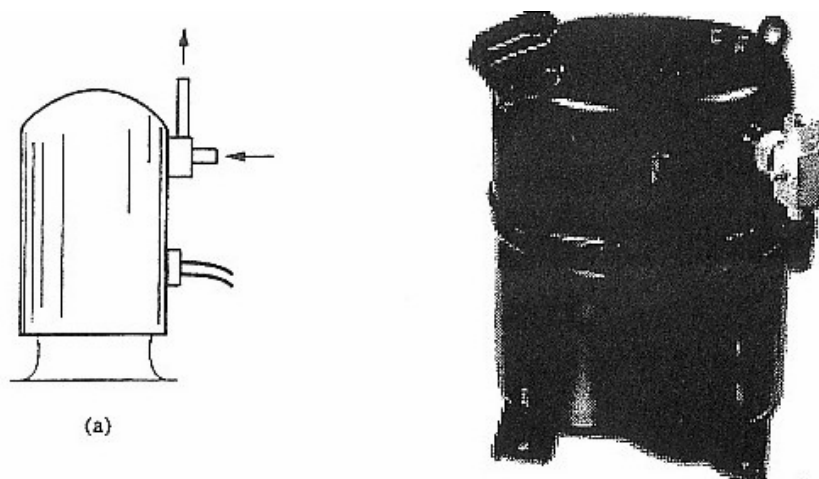


Figura 2.12: Compresor hermético

- Semihermético:

Son del mismo tipo que el anterior pero se pueden desmontar. Tienen también bajo el nivel de fugas y el motor está refrigerado por el propio refrigerante.

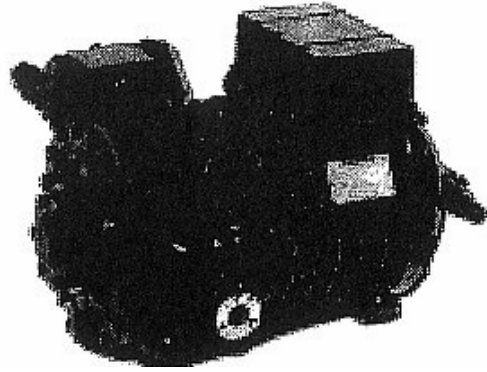
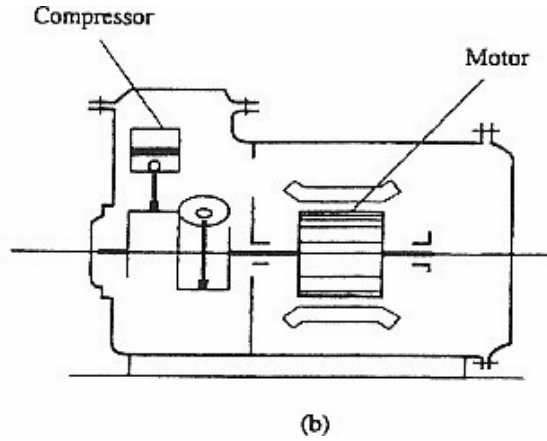


Figura 2.13 : Compresor Semihermético

- Abiertos:

Se montan a parte del motor y se acoplan a este mediante algún mecanismo. Presentan algunos problemas:

El eje gira a la velocidad del motor eléctrico, por tanto el cierre que conecta el eje se puede desgastar y escapar el refrigerante por él. A parte, el motor eléctrico ahora no está refrigerado, tengo que diseñar un sistema de refrigeración.

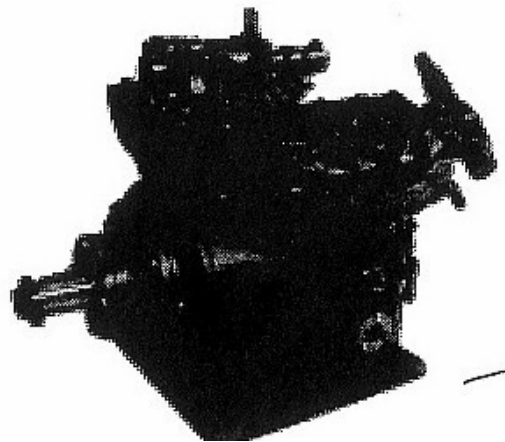
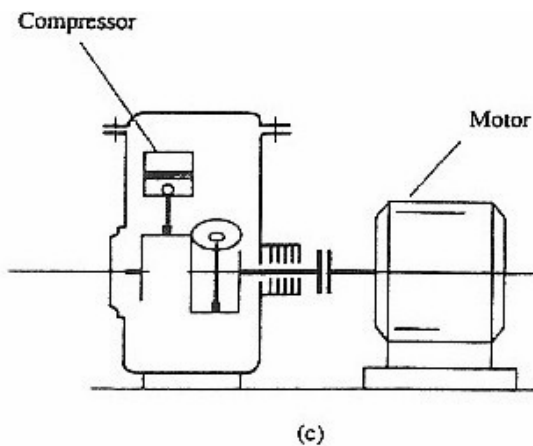


Figura 2.14: Compresor abierto

Según la forma de compresión, se clasifican en:

Compresores de desplazamiento positivo o volumétricos, en los cuales su flujo está confinado en algún momento en un volumen constante. Pueden ser:

- Alternativos
- Rotativos
 - De paletas
 - De espiral (scroll)
 - De tornillo (screw)
 - De excéntrica

Compresores de desplazamiento cinemático o dinámico: En este caso no se introduce el fluido en ninguna cámara, comprimen acelerando el fluido muy rápidamente y después lo frenan, convirtiendo la energía cinética en energía de presión.

- Centrífugos
- Axiales

2.4.1.1. Compresores alternativos

El gas refrigerante se mueve en el interior de un cilindro efectuando su aspiración y su compresión, a través de uno o varios pistones que se mueven en el interior del cilindro. Cada cilindro dispone de al menos una válvula de aspiración de gas refrigerante para la admisión, y de una válvula de descarga a través de la cual el refrigerante descarga hacia el condensador una vez comprimidos.

Los compresores alternativos no funcionan bien si trabajan con relaciones de compresión elevadas y con fluidos poco densos. El rendimiento que tienen a cargas parciales no es bueno a no ser que se haya equipado con un sistema de variación proporcional al gasto.

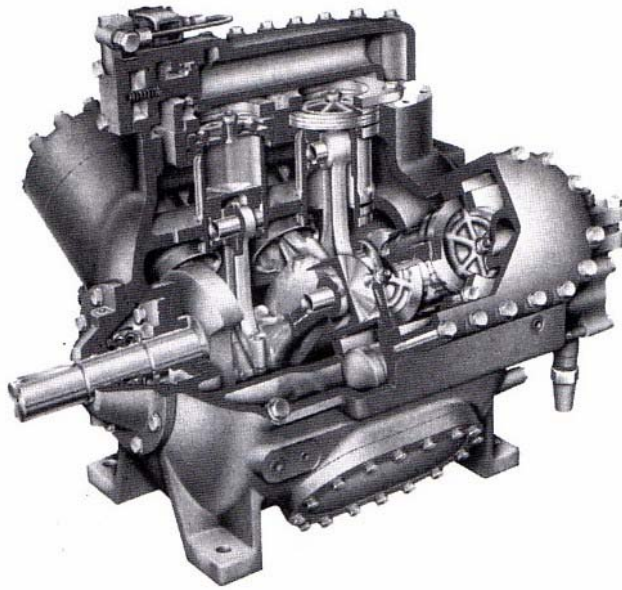


Figura 2.15; Compresor alternativo

Los métodos más utilizados en el control de la capacidad y carga son:

- Control todo-nada:

Normalmente utilizada en pequeña potencia, y consiste en poner en servicio o desconectar el grupo compresor por actuación de un termostato de cámara, ya sea directamente o mediante el presostato de regulación de baja presión.

- Empleo de motores de velocidad variable

Se puede conseguir una aportación de potencia proporcional al gasto. Es costoso por lo que su empleo más general es en el caso de motores con dos velocidades de conmutación, sensible a presión o temperatura.

- Descarga de uno o más cilindros

Se dispone de tantas etapas de parcialización como número de cilindros existe. El método más comúnmente usado es el de apertura de válvulas de aspiración de manera que el cilindro continúa moviéndose pero sin realizar trabajo. Es el más usado entre los métodos de regulación. Presenta problemas de desequilibrio.

- By- pass del gas de descarga hacia la aspiración.

Mediante un acoplamiento de aspiración y descarga cuando la demanda frigorífica cae, parte del gas caliente retorna al lado de aspiración y la capacidad del compresor se

reduce en esa proporción. Este sistema no produce reducción apreciable de la potencia consumida.

- By-pass de una culata de cilindros

Cuando la demanda de potencia frigorífica se reduce se abre la válvula presostática y el gas de descarga de una culata se pasa a parte de la aspiración. Mediante una válvula de retención se logra equiparar las presiones de aspiración y descarga de los cilindros controlados. Los pistones dejan de producir trabajo útil y la potencia absorbida del motor disminuye de modo casi proporcional a la reducción de la potencia frigorífica.

Magnitudes importantes:

- Desplazamiento volumétrico: es el volumen teórico que se mueve por unidad de tiempo en el cilindro.

$$\dot{V} = \frac{\pi \cdot D_c^2}{4} L_c N_c \omega$$

D_c : Diámetro interno del cilindro.

L_c : Carrera, es la longitud entre el punto muerto superior y el inferior.

ω : velocidad de giro. Depende de la velocidad de giro del motor.

N_c : Número de cilindros.

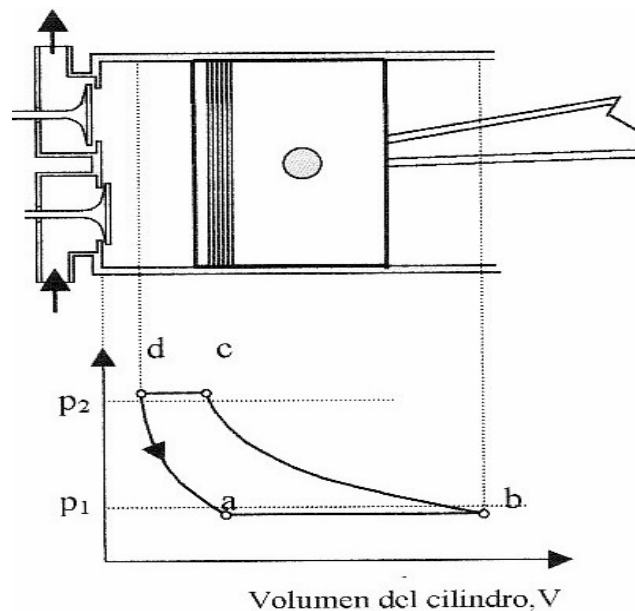


Figura 2.16: Etapas de la compresión, Diagrama P-V

En la carrera descendente, la primera etapa se denomina reexpansión (d-a). El volumen aumenta y baja la presión en el cilindro. Ambas válvulas permanecen cerradas hasta que se alcanza la presión P_1 del gas. A partir de ahí, se abre la válvula de admisión y el volumen aumenta permitiendo la entrada de gas (a-b). A continuación, en la carrera ascendente (b-c), se produce la compresión (ambas válvulas están cerradas) hasta que se alcanza la presión de descarga. Entonces se produce la descarga a la presión superior. Al bajar la presión de aspiración, aumenta la fase de reexpansión y disminuye la cantidad de gas aspirado, y, por tanto el rendimiento del compresor.

El rendimiento volumétrico teórico de un compresor de pistón se define como:

$$\eta_{vt} = 1 - C \left[\left(\frac{P_{des}}{P_{abs}} \right)^{\frac{1}{\gamma}} - 1 \right]$$

Siendo:

C es el factor de huelgo del cilindro o espacio muerto que viene dado, haciendo referencia a la figura 2.16, por:

$$C = \frac{V_d}{V_b - V_d}$$

P_{des} : la presión de descarga del compresor

P_{abs} la presión en la aspiración del compresor.

El rendimiento real se mide experimentalmente. En él, se tienen en cuenta pérdidas de carga en válvulas, el calentamiento por rozamiento, y las fugas en segmento y válvulas.

2.4.1.2. Compresores de paletas

Están constituidos por un rotor ranurado con varias paletas que se instalan a distancias iguales, introducido dentro de un cilindro de tal forma que en todo momento mantenga una generatriz común con éste.

Las paletas deslizan en sus alojamientos y están constantemente apoyadas en el cilindro por medio de resortes.

El refrigerante procedente del evaporador pasa a través del orificio de aspiración o de succión, llenando el espacio comprendido entre el cilindro, el rotor y las dos paletas contiguas. Este volumen de refrigerante se va reduciendo al girar el rotor,

comprimiéndose hasta llegar al punto de tangencia del rotor con el cilindro, descargándose entonces el gas comprimido por el orificio de descarga hacia el condensador.

Este tipo de compresores rotativos, requiere el uso de válvulas de control en la línea de aspiración o de descarga, para evitar que el refrigerante de descarga regrese a través del compresor y de la tubería de aspiración al evaporador cuando el compresor está parado.

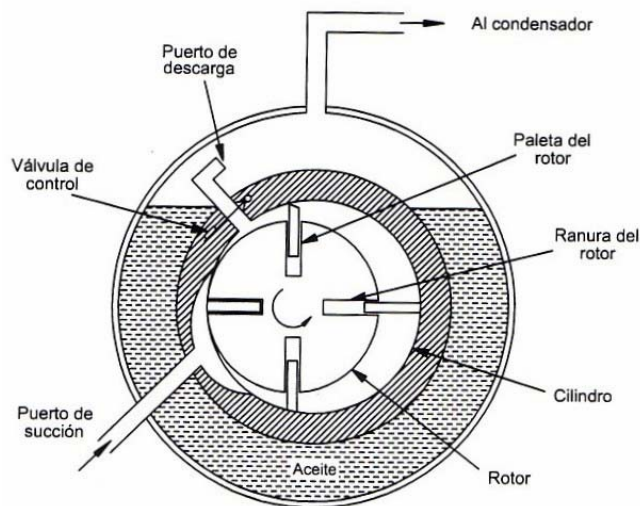


Figura 2.17: Compresor de paletas

2.4.1.3 Compresor de espiral o scroll

Los componentes principales son una espiral fija y una espiral móvil, una dentro de la otra. Los ejes de las espirales están decalados el valor de un radio de órbita para formar una serie de bolsas en forma de media luna. El volumen de las cámaras externas es mayor en la periferia de las espirales.

Los movimientos orbitales reducen progresivamente el volumen del gas hasta el centro donde se encuentra el orificio de descarga.

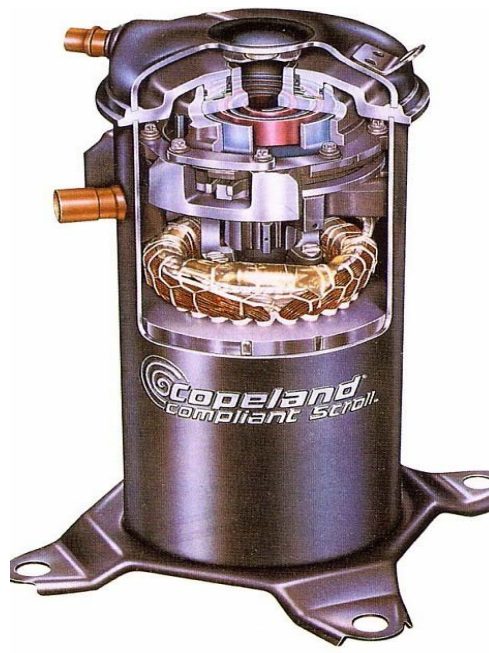


Figura 2.18: Compresor en espiral

Los compresores de espiral presentan una serie de ventajas:

- Reducción de las piezas en movimiento, con lo que son menos los elementos sometidos a fricción y, por lo tanto las posibilidades de averiarse.
- Reducción de los niveles sonoros. Permitiendo que las máquinas de aire acondicionado se integren en zonas residenciales o con bajos requerimientos sonoros.
- Resistencia a las averías. Los compresores rotativos presentan una resistencia total a los golpes de líquido. El diseño del eje en que gira la espiral móvil permite un cierto pivotamiento que anula el efecto de un posible golpe de líquido sin llegar a sufrir ningún daño mecánico como consecuencia del mismo.
- Aumento del rendimiento volúmetrico. A diferencia de los compresores alternativos, los de espiral permiten un llenado y vaciado total de las cámaras, es decir, un rendimiento volúmetrico del 100%.
- Eliminación de vibraciones. La producción de un caudal constante mejora las condiciones de mantenimiento de los materiales, que no se verán sometidos a estrés ni a esfuerzos de fatiga.

Este tipo de compresores presentan la dificultad de la regulación de la capacidad de carga. El caudal de refrigerante que se mueve es constante en el tiempo y no puede ser regulado.

Los compresores de espiral trabajan, por lo general dentro de una gama de potencias que va desde los 50 hasta los 200 kW. Si se requieren mayores potencias se podrán usar varios compresores.

2.4.1.4. Compresores de tornillo o screw

Los compresores de tornillo pueden ser de un solo tornillo (monotornillo) o de doble tornillo. Son los más usados para la gama de potencias altas. La potencia de compresión oscila entre los 25 y los 1250 kW. La velocidad de giro del motor eléctrico que lleva asociado está en torno a las 2950 rpm.

- Compresores monotornillo.

Se compone de un único rotor helicoidal y dos satélites opuestos, con eje de rotación paralelos y situados en un plano perpendicular al del eje del tornillo. El tornillo y los satélites, se encuentran ubicados en una envoltura estanca. El tornillo está unido al motor de accionamiento, y los satélites son arrastrados por el giro del tornillo.

- Compresores de doble tornillo:

Consta de dos rotores con lóbulos fileteados engranados el uno con el otro. En los canales, entre carcasa y tornillo se forman cámaras de volumen variable. La aspiración del gas comienza en una de las extremidades del bloque rotor. La compresión del gas a consecuencia del acercamiento progresivo de los lóbulos entre sí, produciéndose la reducción de volumen ocupado por el gas. Una vez alcanzado el valor de presión establecido, el gas encuentra la abertura de descarga y sale del compresor.

El control de capacidad de estos compresores se puede llevar a cabo de forma continua y oscila entre el 10 y el 100% del valor máximo.

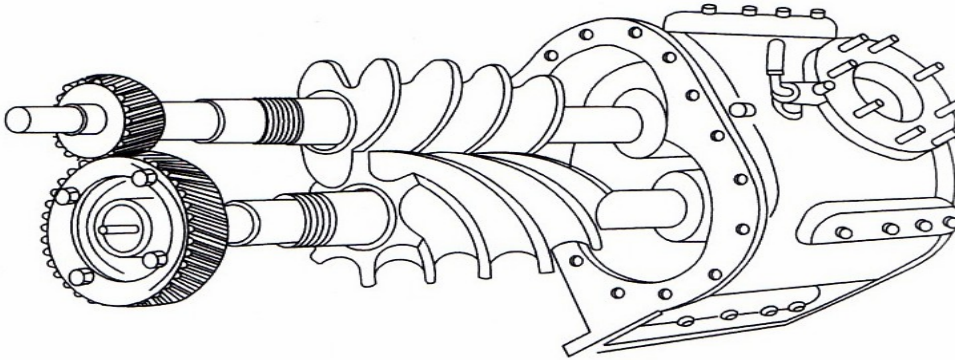


Figura 2.19: Compresor de Tornillo

El compresor dispone de un orificio de succión y de dos orificios de descarga, uno axial y otro radial. La regulación se hace reduciendo el volumen fileteado, retardando el inicio de la fase de compresión. Mediante una válvula corredera, parte del aire introducido para su compresión es desviado y vuelve a la succión sin ser comprimido. La reducción de la potencia absorbida es proporcional a la reducción de la capacidad frigorífica. La válvula regula la descarga a través del orificio radial, por lo que siempre queda una parte de gas que descarga por el orificio axial, con lo que la etapa mínima de capacidad se sitúa en torno al 10%.

Los compresores monotornillo regulan su capacidad siguiendo el mismo principio que los de doble tornillo, sustituyendo la corredera longitudinal por un anillo rotativo que va descubriendo de forma progresiva un orificio que cortocircuita una parte más o menos grande de la etapa de compresión.

La separación del aceite y el gas refrigerante presenta a menudo problemas en este tipo de compresores.

Respecto al rendimiento volumétrico, el compresor de tornillo obtiene unos resultados excelentes, rozando el 100%.

2.4.1.5. Compresores de excéntrica

Constan de un rodillo cilíndrico de acero que gira sobre un eje excéntrico, montado éste concéntricamente con un cilindro. Debido al eje excéntrico el rodillo cilíndrico, toca sólo al cilindro a lo largo de una generatriz.

Al girar el eje, el rodillo se desliza alrededor de la pared del cilindro, en la dirección del giro del eje, manteniendo siempre contacto con la pared del cilindro.

Una paleta, montada en una ranura en la pared del cilindro, está siempre en contacto con el rodillo obligada por un resorte. La paleta se mueve hacia dentro o hacia fuera en su ranura de alojamiento según va girando el rodillo. Esta paleta establece la separación entre la aspiración y la descarga.

Cuando el rodillo está tangente al cilindro en el lugar de la paleta, todo el espacio comprendido entre el rodillo y el cilindro se llena de gas procedente del evaporado. Este espacio va disminuyendo de volumen a medida que el rodillo gira y la descarga se efectúa cuando el rodillo está tangente al cilindro sobre el orificio de descarga. En la descarga existe una válvula de tipo lengüeta que evita que el gas comprimido regrese a la cámara del cilindro.

Hay que resaltar que en este tipo de compresor la aspiración se hace de una manera continua.

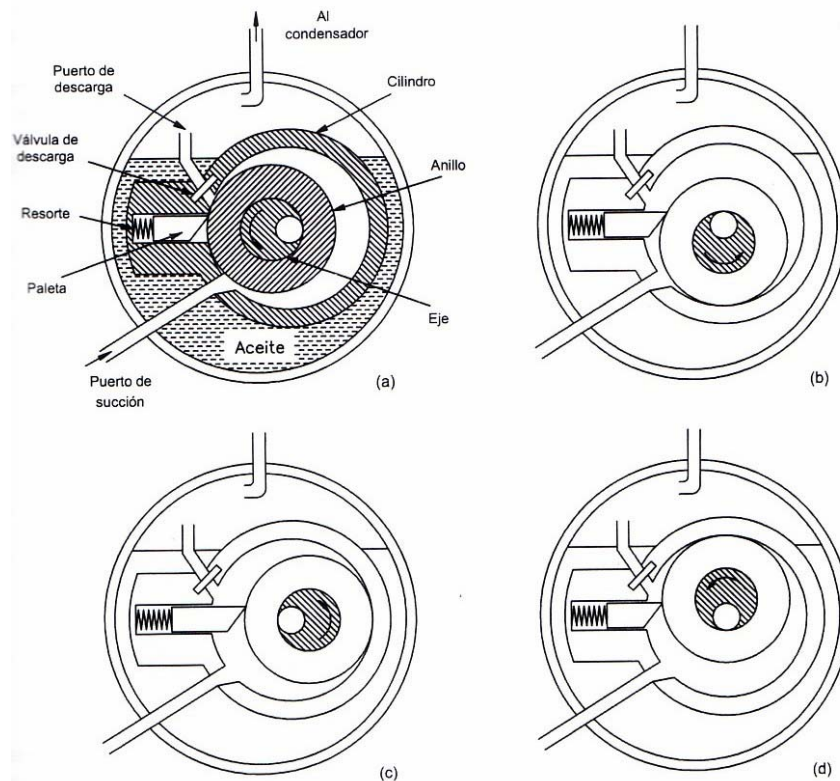


Figura 2.20 : Compresor de excéntrica

2.4.1.6. Compresores centrífugos

El gas entra por el centro y es expulsado radialmente. Cuando pasa por los álabes se acelera y es recogido por una voluta donde la aceleración se convierte en energía de presión.

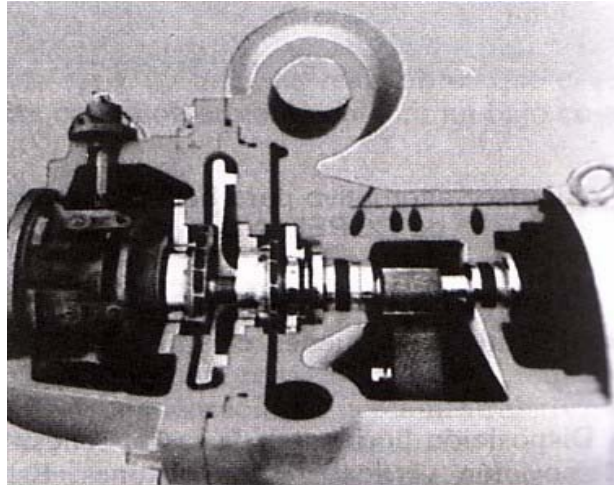


Figura 2.21: Compresor Centrífugo

2.4.2. Evaporador

El evaporador es una parte muy importante de una instalación frigorífica por ser donde se produce el efecto frigorífico que se desea obtener. De forma general, es un intercambiador donde se produce el cambio de fase de refrigerante líquido a vapor a costa de la absorción de calorías del producto o proceso a enfriar.

El evaporador en una instalación frigorífica se sitúa entre la válvula de expansión y el compresor. El fluido refrigerante a la salida de la válvula de expansión se encuentra en estado líquido a baja presión, el evaporador se encarga de absorber calor de manera que este fluido se vaporice para la entrada al compresor.

Muchas veces el intercambio de calor entre el fluido refrigerante y lo que se quiere enfriar es directo, pero otras veces no se puede y tiene que haber un elemento intermedio, el cual se enfría y éste enfría mi producto.

2.4.2.1. Tipos de evaporadores

Podemos hacer una clasificación general de los evaporadores según varios criterios.

- Según el método de alimentación del refrigerante:

- Evaporador inundado.

Consta de un depósito cilíndrico casi totalmente lleno de líquido en la parte alta del evaporador, al que van soldados unos tubos. El control del refrigerante líquido, que debe entrar en el evaporador en la misma proporción que lo que absorbe el compresor, se hace mediante una válvula flotador.

El líquido se mueve por convección natural debido a la presión de la columna de agua. La evaporación es parcial y el gas sale por arriba del depósito. Al hallarse toda la superficie bañada en líquido refrigerante, se obtiene una ebullición en toda la masa y una rápida absorción de calor.

Este tipo de evaporadores no produce sobrecalentamiento en el vapor, está en condiciones de saturación, lo que hace que sean mejores condiciones de temperatura de descarga para el compresor, mejora el COP, ya que disminuye la potencia de compresión.

Uno de los inconvenientes que tienen este tipo de evaporadores es el elevado coste por todos los elementos que incorpora el sistema. A parte, necesita mayor cantidad de refrigerante porque las columnas y el depósito tienen que estar llenos.

El rendimiento se ve también afectado por la acumulación de aceite. El aceite se escapa con el gas, si se acumula mucho aceite puede entaponar la entrada y no funcionar eficientemente, es como si tuviese menor área de transferencia. Este aceite se suele acumular en las partes bajas.

Este tipo de evaporadores se usan para instalaciones industriales.

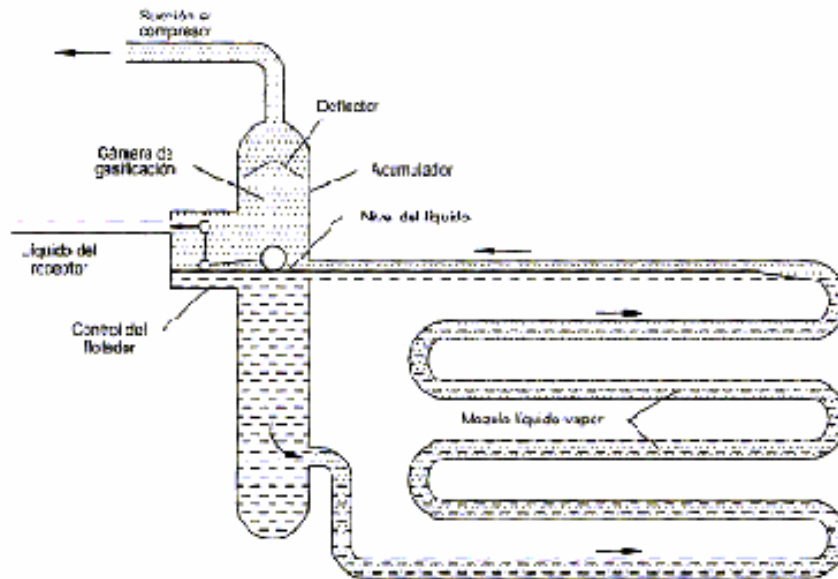


Figura 2.22: Evaporador Inundado.

- Expansión directa.

En estos evaporadores el fluido refrigerante circula por el interior de los tubos y el líquido a enfriar por la carcasa y se consigue que el fluido vaporice completamente.

El grado de sobrecalentamiento del vapor a la salida es regulado con una válvula de expansión termostática. La válvula asegura que el refrigerante salga con un recalentamiento de 4 a 7 °C gracias a un sensor de temperatura situado a la salida del evaporador. El sensor si ve que el sobrecalentamiento disminuye e intenta acercarse a la zona de líquido-vapor le manda una señal a la válvula que hace que ésta se cierre un poco para que entre menos caudal de líquido y por tanto, consiga evaporar todo lo que entre. Si por el contrario ve que aumenta el sobrecalentamiento su forma de regulación es aumentar el caudal.

Este tipo de evaporadores se usan en pequeñas instalaciones.

Tiene la ventaja de la fácil instalación y un bajo coste. Como desventaja se puede decir que siempre hay sobrecalentamiento, lo que implica una temperatura más alta de trabajo del compresor, por lo que necesita un trabajo de compresión mayor. A parte, el refrigerante pasa por todas las fases, y cuando está calentado es menos eficiente que cuando aún hay líquido.

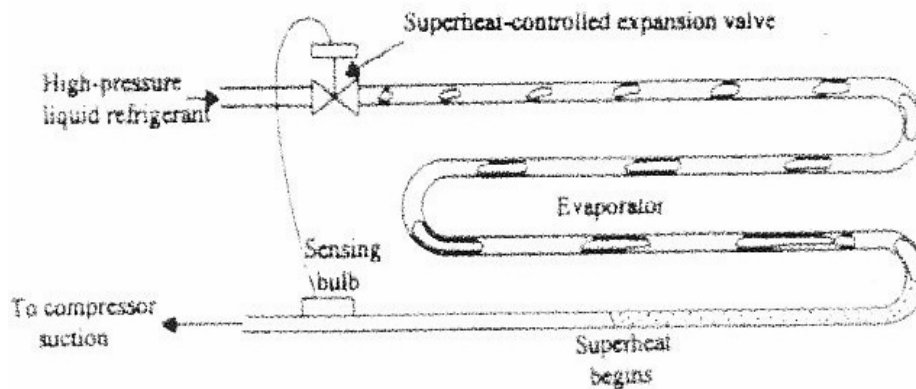


Figura 2.23: Evaporador de expansión directa

Comparando estos evaporadores con los evaporadores inundados son menos eficientes, ya que los evaporadores inundados con menor área de intercambio se consigue mayor potencia.

- Recirculación de líquido

Es un sistema parecido al evaporador inundado, pero no se mueve por termosifón, hay una bomba que mueve el refrigerante.

Como ventaja presenta que es un poco más barato y que el aceite no se deposita. A parte, en el caso de que se tuviese más de un evaporador no se puede colocar un depósito para todos, pero sin embargo, sí se puede colocar una sola bomba.

El inconveniente que tiene es el consumo de las bombas.

Se usa al igual que el evaporador inundado para grandes instalaciones.

- Atendiendo al elemento que se enfría:

- Enfriadoras de aire (baterías de frío):

Lo que enfrían es aire y son los más comunes en refrigeración industrial.

Sus componentes principales son:

- Aire / Refrigerante
- Tubos: por cada tubo va el refrigerante.
- Colector de entrada y salida.
- Carcasa: es lo que envuelve a todo el conjunto.

- Bandeja de recogida de condensado: Cuando el aire se enfría pierde parte del agua que lleva. El agua se deposita sobre los tubos y después gotea. Esta agua es la que se recoge en la bandeja de recogida de condensado.
- Ventilador

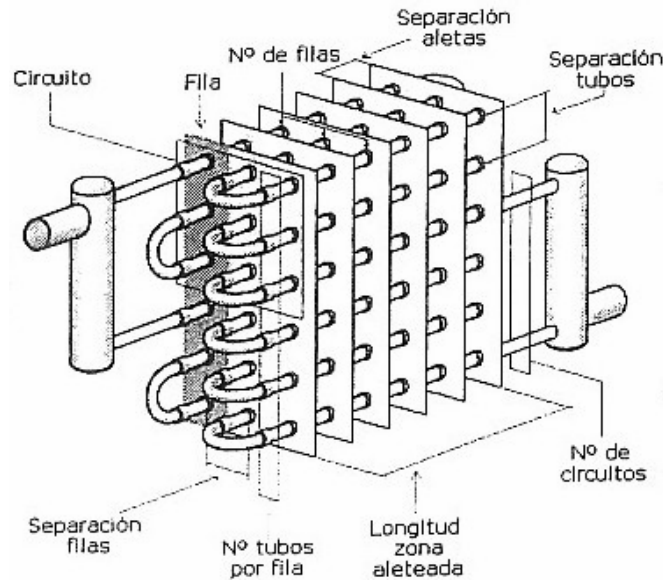


Figura 2.24: Batería de frío

- Enfriadoras de líquido:

Pueden enfriar agua o un refrigerante secundario (salmueras, alcoholes o algún anticongelante).

Al enfriar agua, el agua se distribuirá por todo el edificio. En el caso de que esta agua se enfriara por debajo de 0 °C se utilizan glicoles o salmueras para que no se congele.

Los enfriadores de líquido más utilizados son los intercambiadores de carcasa y tubo, y los intercambiadores de placas.

Carcasa y tubo

Consiste en un tubo de gran diámetro con muchos tubos de pequeño diámetro en su interior. El refrigerante puede ir por el interior de los tubos o por la carcasa.

Si el refrigerante va por dentro de los tubos se suele usar para plantas enfriadoras de agua de aire acondicionado (instalaciones centralizadas de aire). Cuando el refrigerante va por el exterior de los tubos se usa para refrigeración industrial.

Los tubos pueden ser lisos o aleteados. Los evaporadores de tubos lisos son usualmente construidos en acero y cobre. Los tubos de acero son utilizados por grandes evaporadores y para aquellos que utilizan amoniaco, y los tubos de cobre se utilizan en los de menor tamaño.

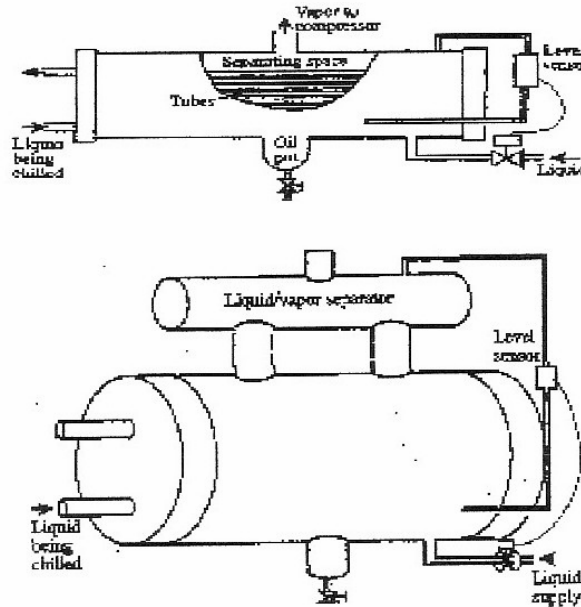


Figura 2.25: Enfriadora de líquido de carcasa y tubo con evaporador inundado

De placas

Está compuesto de una serie de placas aclopadas entre sí, se cierran con dos tapas de acero y se atornillan. El refrigerante y el líquido a enfriar circulan en sentidos contrarios por las distintas caras de cada una de las placas que conforman el evaporador.

Este tipo de intercambiadores tienen un diseño compacto y modular, fácilmente desmontable para su limpieza y permite ahorrar espacio. Tienen un alto coeficiente de transferencia de calor y usan baja carga de refrigerante.

Los problemas en el sellado hacen que su uso no sea recomendable cuando se trate de refrigerantes peligrosos.

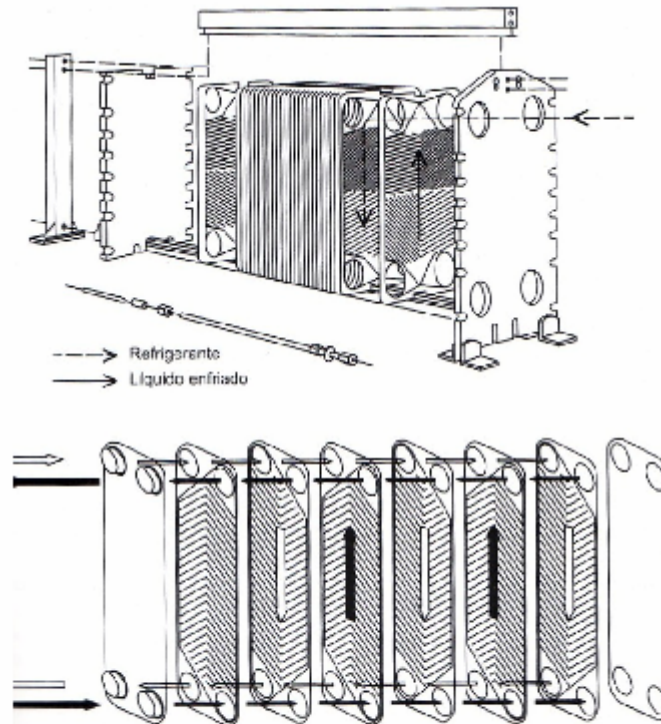


Figura 2.26: Evaporador de tipo placas

2.4.3. Condensador

El condensador es el componente de la planta frigorífica cuya misión es el paso del estado gaseoso al estado líquido del fluido refrigerante gracias a un fluido de enfriamiento que evacua el calor hacia el exterior.

El condensador se sitúa entre el compresor y la válvula de expansión en el ciclo frigorífico. El gas refrigerante, comprimido hasta alta presión, sufre la transformación a líquido cediendo calor al exterior en el condensador, para ser expandido posteriormente en la válvula de expansión.

Los condensadores en los equipos de climatización pueden ceder calor a aire o a agua, según sea uno u otro el equipo, se dice que está condensado por aire o por agua.

2.4.3.1. Clasificación de condensadores

Se pueden distinguir tres tipos de condensadores por el método de enfriamiento: condensadores de aire, condensadores de agua o condensadores evaporativos.

- Condensadores de aire:

Están formados por una batería de tubos aleteados dentro de los cuales circula el refrigerante que calienta el aire exterior. Por la forma de circular el aire para refrigerar, distinguimos entre dos tipos de intercambiadores, ambos de flujo cruzado:

- Circulación natural
- Circulación forzada

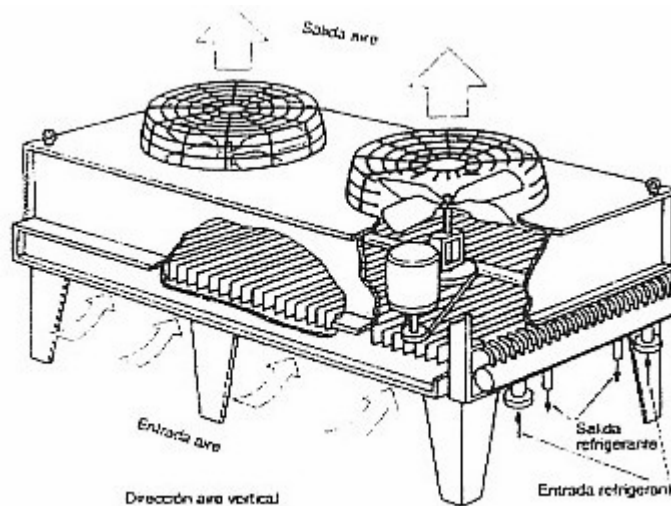


Figura 2.27: Condensador de aire

El aire tiene un calor específico muy bajo, y por otra parte el coeficiente de transmisión térmica entre un vapor condensante y un gas es reducido. Ambas características obligan a mover grandes volúmenes de aire y poner en juego grandes superficies de intercambio para potencias frigoríficas relativamente pequeñas. Por esto, sólo en equipos pequeños se usa la circulación natural.

En la mayoría de las instalaciones es indispensable, para obtener la circulación sobre el conjunto aleteado, el uso de varios ventiladores independientes.

El condensador consta de un banco de tubos aleteados a través de los cuales circula el refrigerante. Teniendo en cuenta la longitud de tubo aleteado necesaria para obtener la superficie de condensación, el condensador puede constar de varias hileras de profundidad a fin de conservar una sección frontal compatible con el tamaño de los ventiladores.

El diámetro interior de los tubos depende de la capacidad del condensador y oscila entre 10 y 20 mm. Así, la distancia de separación de las aletas, también dependiente del tamaño de la instalación, varía entre 1,5 y 2 mm.

En instalaciones para aire acondicionado las temperaturas de trabajo son relativamente altas.

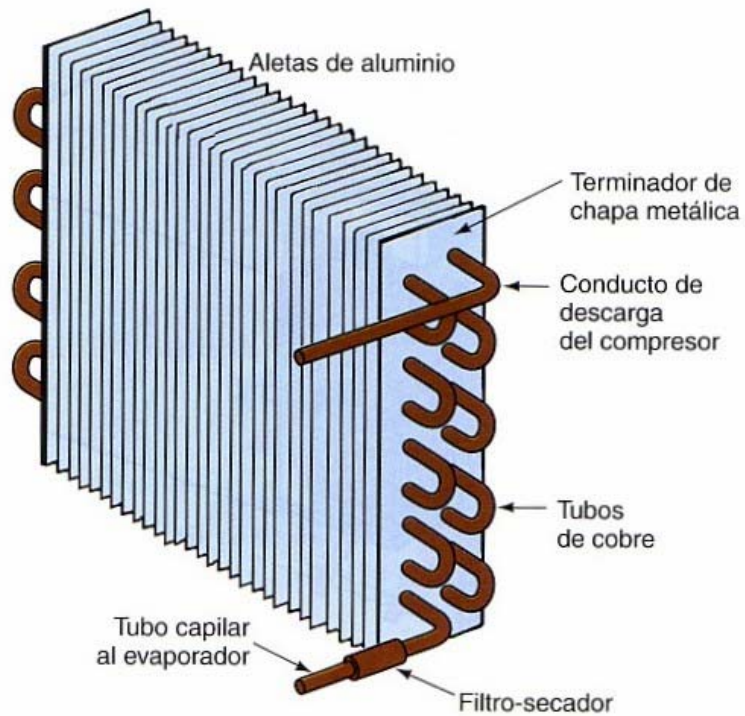


Figura 2.28: Condensador de aire para un equipo de aire acondicionado.

En cuanto a los materiales de construcción, el acero es el material más utilizado. Cuando se trata de fluidos halogenados, por razones de costo, es frecuente el empleo de tuberías de cobre con aletas de aluminio tratado contra la corrosión.

Para la correcta evacuación del aire se ha de buscar un buen emplazamiento, generalmente al aire libre, o en casos de pequeña potencia en el interior pero con un gran volumen de aire disponible. Según la disposición en el condensador se puede distinguir entre dirección del aire vertical y horizontal.

Un factor importante a tener en cuenta es el nivel sonoro del conjunto que dependerá del ventilador elegido, así como de la disposición de los tubos. Los perjuicios por los sonidos se reducen en los modelos con circulación vertical de abajo hacia arriba.

Este tipo de condensadores son de menor costo inicial y de mantenimiento, pero tienen un mayor costo de operación, porque tienen una temperatura de operación alta, y cuanto más alta esté la temperatura del condensador, más consume el compresor.

- Condensadores de agua:

Pueden ser un intercambiador de carcasa y tubo o de placas.

En el condensador de carcasa y tubos, el refrigerante condensa por la carcasa y el agua va por el interior de los tubos. El refrigerante cede calor al agua de los tubos, ésta se calienta y el refrigerante se condensa.

El agua que se va calentando en el interior de los tubos se lleva a una torre de refrigeración (en el caso de que no se tuviese una fuente de agua fría), donde se enfría para volverla a introducir en los tubos y calentarla de nuevo.

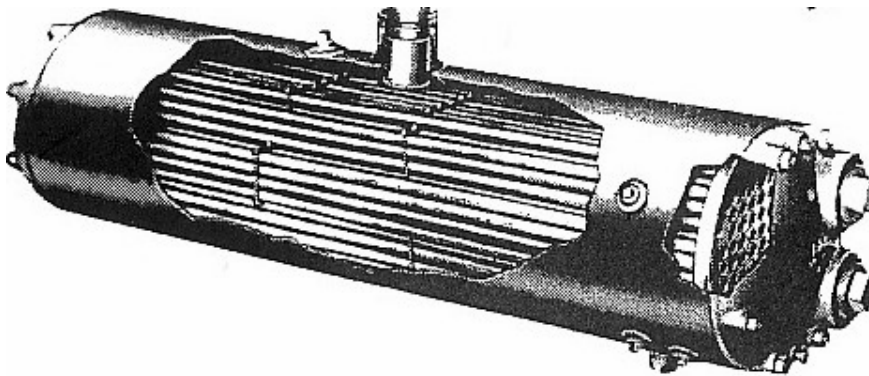


Figura 2.29: Condensador de agua

El consumo en este tipo de condensadores es menor que en los de aire, porque trabajan con una menor temperatura de condensación, pero tienen un costo de instalación mayor.

- Condensadores evaporativos:

Estos condensadores son una ducha donde se ha introducido un serpentín por el que pasa el refrigerante.

Se pulveriza agua y estas gotas se quedan sobre la superficie de los tubos. Mientras, se introduce con el ventilador aire a contracorriente, este aire lo que intenta es saturarse y para conseguir esto tiene que evaporar agua. La evaporación de agua se consigue extrayendo calor de los tubos.

Con este método se consigue una temperatura de condensación menor por lo que se consumirá menos, pero tienen un coste inicial muy alto.

Al igual que en las torres de refrigeración, existe el problema de la legionela, ya que en la parte inferior hay bañeras, por eso hay que someter las bañeras a choques térmicos.

Tiene una alimentación de agua a través de la red, porque están sometidos a evaporaciones de agua. El agua de red tiene muchas sales, si el agua la introduzco varias veces, evaporándola constantemente, cada vez que pase por dentro queda saturada de sales. Esta es la causa de que se vaya tirando el agua, para tomar agua nueva que no sea tan reactiva.

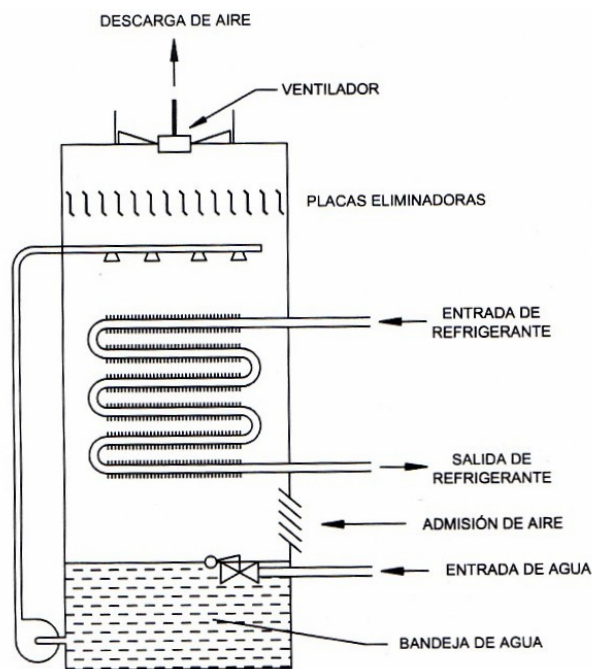


Figura 2.30: Condensador evaporativo

2.4.4. Sistemas de expansión

Estos sistemas son los que realizan la pérdida de presión entre el condensador y el evaporador. Adicionalmente, sirven para alcanzar el punto de equilibrio de funcionamiento del sistema.

2.4.4.1. Tipos de válvulas de expansión

- Tubo capilar

Se trata de un tubo de pequeño diámetro que va del condensador al evaporador por el que circula el líquido refrigerante, produciendo una pérdida de carga proporcional al

diámetro y la longitud del tubo. El cálculo teórico es complicado y se hace normalmente por la vía experimental.

Tiene mala respuesta ante cambios de carga. Se instalan en sistemas sencillos, donde las condiciones de funcionamiento varían poco. Son simples y económicos.

- Válvula de expansión manual.

En ellas el flujo de líquido a través de la válvula depende de la diferencia de presiones a través del orificio de la válvula y del grado de apertura de la misma.

El ajuste de la válvula se realiza manualmente y no responde a variaciones de carga, de modo que hay que reajustarla.

En el proceso de marcha-paro hay que abrirla y cerrarla manualmente.

- Válvula de expansión automática

Mantiene la presión constante en el evaporador, inundando más o menos la superficie del mismo en respuesta a los cambios de carga del sistema.

Son peligrosas porque pueden meter más líquido del que pueden evaporar o puede que la temperatura de la cámara sea muy alta y meta muy poco líquido en el evaporador.

Este tipo de válvulas constan de: Obturador, asiento, diafragma y muelle.

Su funcionamiento se basa en que una vez que la tensión del muelle es ajustada para una determinada presión del evaporador, la válvula opera para regular el paso del líquido, manteniendo la presión del evaporador independientemente de la carga del evaporador.

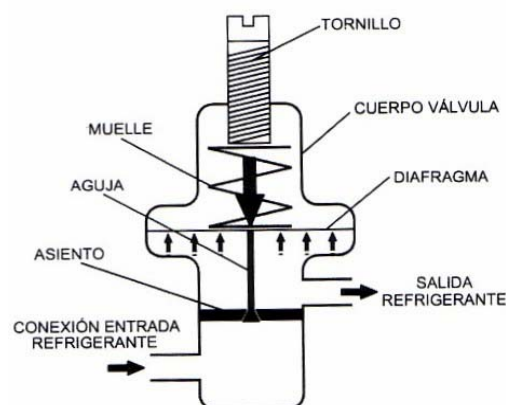


Figura 2.31: Válvula de expansión automática

El aprovechamiento del evaporador no siempre estará en el óptimo, al no mantenerse el grado de recalentamiento a lo largo del mismo, pudiendo llegarse al punto de que entre líquido al compresor con los consiguientes daños que origina.

- Válvula de expansión termostática

En el diseño de evaporadores, se pretende que la superficie de construcción sea igual a la necesaria para conseguir que el líquido evapore, consiguiendo así el máximo aprovechamiento de calor latente del refrigerante. Es necesario, no obstante, un cierto grado de recalentamiento para evitar los golpes de líquido al compresor.

Para adecuarse a la carga variable del sistema, es preciso actuar sobre la cantidad de líquido que entra al evaporador.

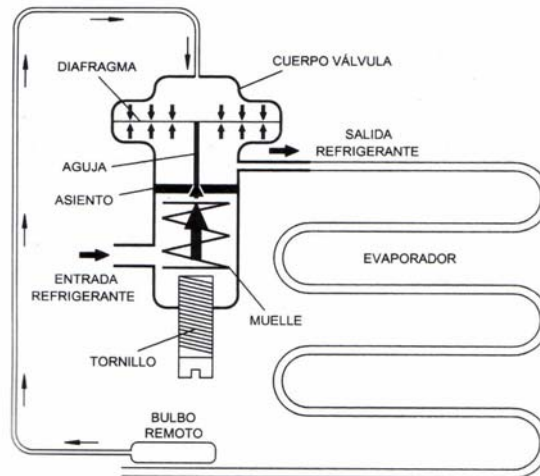


Figura 2.32: Válvula de expansión termostática

En este concepto se basan las válvulas de expansión termostáticas que regulan el paso de refrigerante mediante el control del grado de recalentamiento del gas a la salida del evaporador. Su misión es mantener un grado de sobrecalentamiento fijo mediante el grado de apertura de la válvula.

La temperatura de evaporación se ajusta sola, la cual será alta lo que será bueno para el evaporador.

Que aumente la temperatura de evaporación se consigue con un bulbo que está lleno de refrigerante junto al tubo y en la parte superior del diafragma. Este bulbo se conecta al conducto de salida del evaporador, así se consigue que la temperatura del gas sea la misma que la que tiene el gas dentro del evaporador.

Si aumentase el sobrecalentamiento, la válvula disminuiría el caudal de refrigerante.

En el bulbo lo que hay es gas con un poco de líquido en equilibrio. El gas está a la presión de cambio de fase correspondiente a la temperatura de salida del evaporador. En la parte inferior del diafragma tengo la presión del muelle y por arriba del bulbo la que llega del evaporador, por tanto la presión del bulbo será igual a la presión del muelle más la presión de evaporación.

El muelle será el que controle el salto de presiones entre el bulbo y el evaporador, cuando la presión del bulbo aumenta, aumentará la presión del evaporador.

Estas válvulas lo que consiguen es que la relación entre la presión del bulbo y la presión del evaporador se mantengan constantes, lo que implica un incremento de temperatura también constante.

Es el tipo de válvulas que se utilizan en la mayoría de instalaciones de tamaño medio y en todas las instalaciones grandes.

- Válvula de expansión electrónica

Esta válvula permite el ajuste de varios factores simultáneamente. Controla la inyección del líquido basándose en la señal de recalentamiento y en la señal de presión de evaporación. El sistema se autoregula en cada situación de trabajo.

Este sistema consta de: regulador electrónico, válvula con accionador y sensores.

Mediante la válvula se consigue siempre un grado de recalentamiento determinado, tal que el aprovechamiento del evaporador sea óptimo.

2.5. Enfriadores de aire. Propiedades del aire húmedo

Para estudiar las propiedades del aire se recurren al diagrama psicrométrico de aire ASHRAE (Asociación Americana para calefacción, refrigeración y aire acondicionado).

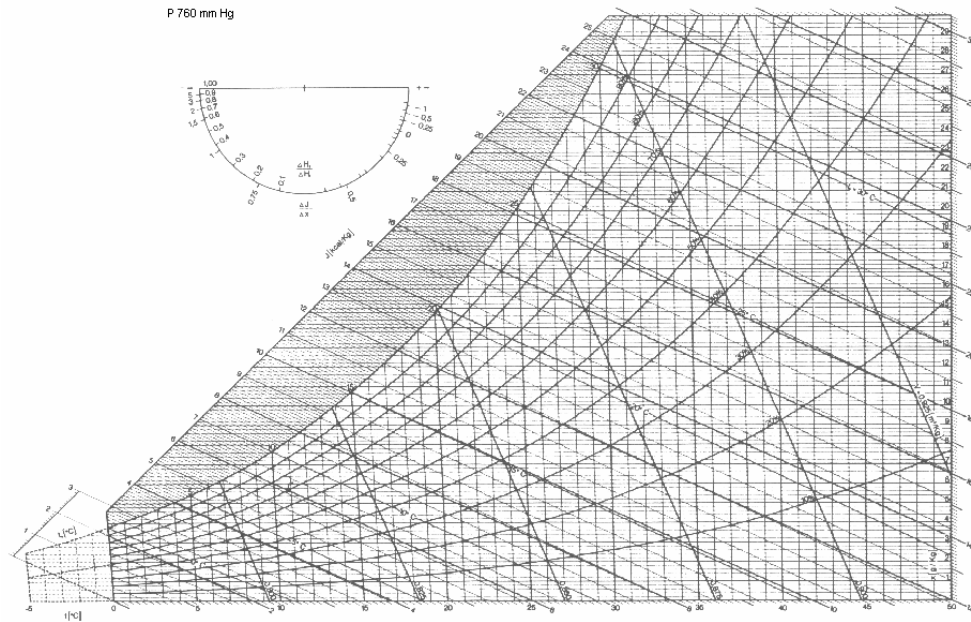


Figura 2.33: Diagrama psicométrico

El diagrama psicométrico representa las propiedades del aire para una presión determinada, por tanto, hay un diagrama distinto para cada presión.

Si el aire en un estado dado se encuentra en la zona de vapor húmedo, necesito tres variables para conocer completamente su estado.

Con la presión fijada faltan otras dos variables aún, por lo que se fija la temperatura seca del aire y se fija la humedad ya sea absoluta o relativa, para que se puedan conocer el resto de propiedades.

En el diagrama se distinguen las siguientes curvas características:

- Curva de saturación: Da la máxima cantidad de agua que admite el aire a una temperatura dada.



Figura 2.34: Situación de la curva de saturación en el diagrama psicométrico.

- Curvas de humedad relativa: Da fijada la temperatura la cantidad máxima de agua que puede haber por kilogramo de aire seco.

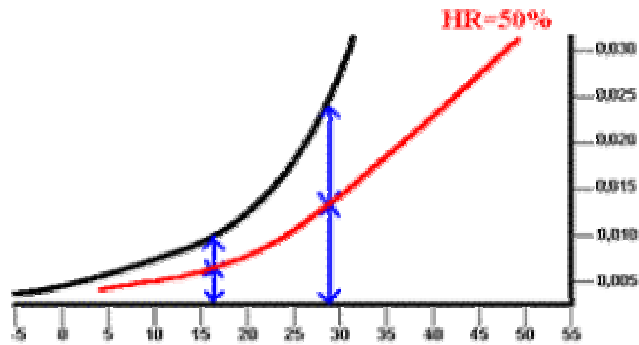


Figura 2.35: Curvas de humedad relativa

- Volumen específico; en m^3/kg a.s. Es el volumen ocupado en la presión atmosférica por 1 kg de aire húmedo.

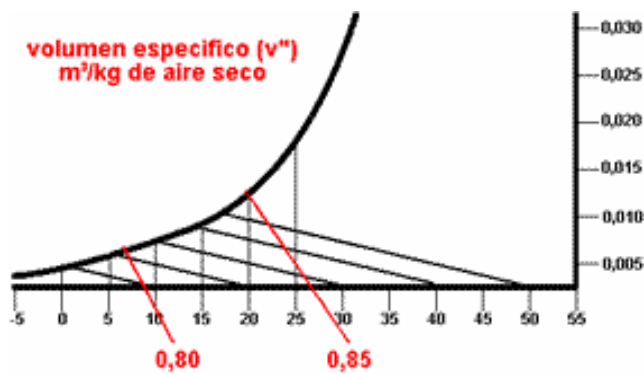


Figura 2.36: Representación de volumen específico en el diagrama psicométrico

- Entalpía; en kJ/kg a.s. Es la cantidad de calor necesario para elevar un kg de aire seco un grado $^{\circ}\text{C}$. Se lee en la escala oblicua situada en la curva de saturación.

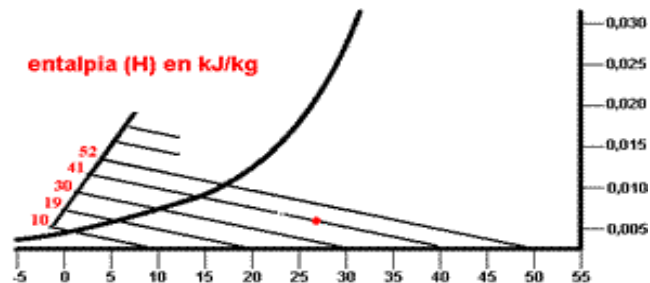


Figura 2.37: Líneas de entalpía constante en el diagrama psicométrico

Otras definiciones interesantes son (definiciones obtenidas de Eurovent):

- T^a de rocío: “Es la temperatura a la que debe descender el aire para que se produzca la condensación de la humedad contenida en el mismo”. Es decir, es la temperatura a la cual empiezan a aparecer gotas de agua. Si el aire que se tiene se pone a una temperatura por debajo de su temperatura de saturación, no puede existir la temperatura de rocío, ya que no sería aire, sino que serían gotas.
- Temperatura de bulbo húmedo: “Es la temperatura indicada por un termómetro, cuyo depósito está envuelto con una gasa o algodón empapados en agua, expuesto a los efectos de una corriente de aire intensa”, es decir, si el aire se hace pasar varias veces por cortinas de agua, se produciría un proceso de saturación adiabática, cuando se llega a la saturación se obtiene la temperatura de bulbo húmedo.
- Temperatura de bulbo seco: “Es la temperatura del aire, indicada por un termómetro ordinario”.
- Humedad: “Es la condición del aire con respecto a la cantidad de vapor de agua que contiene”.
- Humedad absoluta: “Es el peso del vapor de agua por unidad de volumen de aire, expresada en gramos por metro cúbico de aire”.
- Humedad específica: “Es el peso del vapor de agua por unidad de peso de aire seco, expresada en gramos por kilogramo de aire seco”.
- Humedad relativa: “Es la relación entre la presión real del vapor de agua contenida en el aire húmedo y la presión del vapor saturado a la misma temperatura. Se mide en tanto por ciento”.

Por ejemplo, si tuviese aire a una temperatura de bulbo seco 30°C y 40% de humedad relativa, la temperatura de rocío y la de bulbo húmedo se determinarían de la siguiente manera.

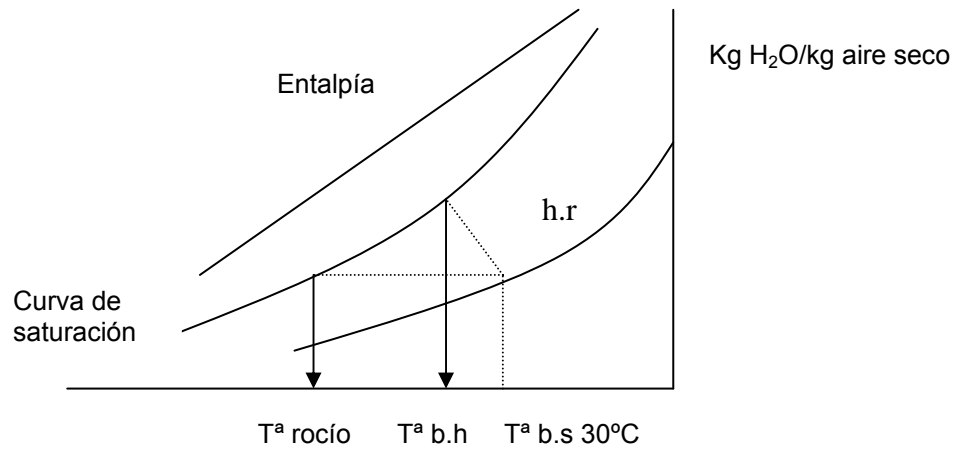


Figura 2.38: Ejemplo de cálculo de temperatura de rocío y de bulbo húmedo.

2.5.1. Transformación de un estado a otro

Si se realiza el paso de un estado 1 a un estado 2 como el de la siguiente figura, el calor sensible viene dado por la cantidad de calor asociada al cambio de temperatura y el calor latente es la cantidad de calor asociada al cambio de humedad, la suma de ambos proporcionará el calor total de la transformación.

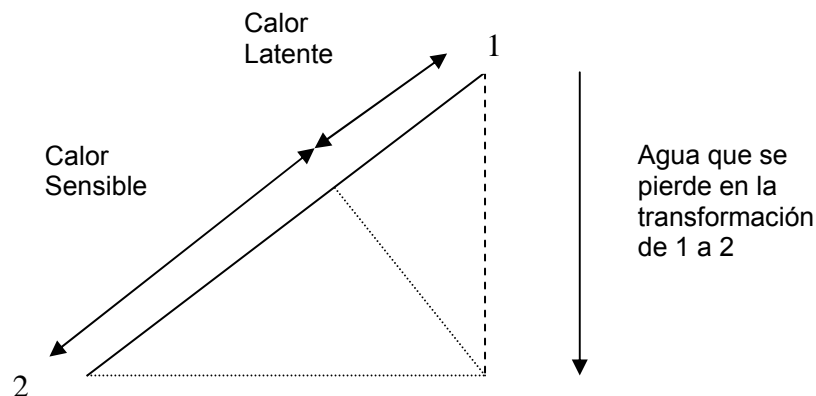


Figura 2.39 : Representación del calor sensible y del calor latente

Un caso particular de transformación, es aire en contacto con agua o una superficie húmeda. En este caso el aire que está justo al lado del agua, es el aire saturado a la temperatura del agua T_w .

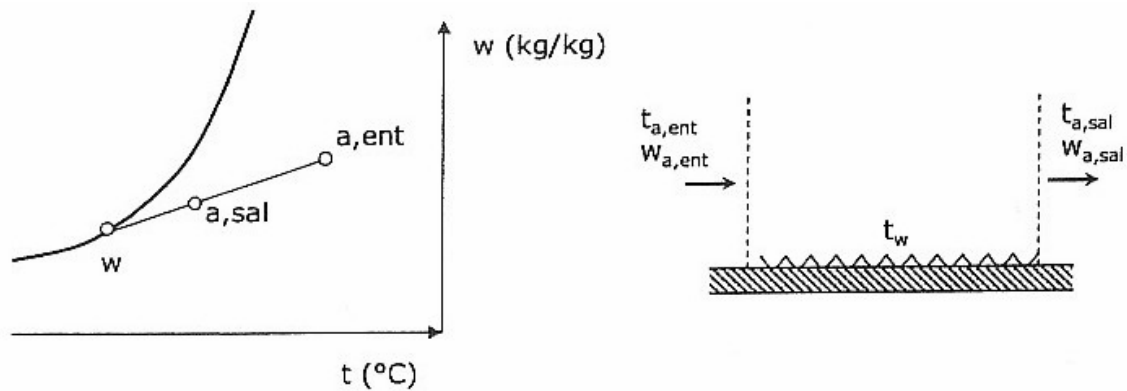


Figura 2.40: Esquema y diagrama psicrométrico de lo que ocurre al poner en contacto el aire con la capa de agua.

El aire a la entrada se pone en contacto con la capa de agua y sale el aire a una determinada temperatura de salida. En el caso de que el agua esté a una temperatura más baja que el aire de entrada, el aire se deshumidificará y la capa de agua irá ensanchándose.

El intercambio de energía que se produce viene dado como el calor sensible más el calor latente por la siguiente expresión:

$$q = \dot{m}_a (h_{a,ent} - h_{a,sal}) = \dot{m}_a c_p (t_{a,ent} - t_{a,sal}) + \dot{m}_a \lambda (w_{a,ent} - w_{a,sal})$$

donde:

\dot{m}_a , es el caudal másico de aire en Kg/s.

C_p es el calor específico, y su valor aproximado es 1.006 kJ/Kg K.

λ es el calor latente de vaporización, y vale 2500 kJ/kg.

$h_{a,ent}$ es la entalpía del aire a la entrada, en kJ/kg

$h_{a,sal}$ es la entalpía del aire a la salida, en kJ/kg

$t_{a,ent}$ es la temperatura del aire a la entrada.

$t_{a,sal}$ es la temperatura del aire a la salida.

$w_{a,ent}$ es la humedad absoluta del aire a la entrada, en kg H₂O/ kg de aire seco.

$w_{a,sal}$ es la humedad absoluta del aire a la salida, en kg H₂O/ kg de aire seco.

2.5.2. Tipos de enfriamiento

Se pueden distinguir dos tipos de enfriamiento, enfriamiento sin deshumidificación y enfriamiento con humedificación.

Enfriamiento sin deshumidificación:

Se da cuando la temperatura superficial es mayor que la temperatura de rocío, si la humedad absoluta es constante no se da la deshumidificación.

Si la temperatura superficial de los tubos es menor que la temperatura a la entrada se produce un enfriamiento. A este tipo de batería se le llama también baterías secas.

Enfriamiento y deshumidificación.

Cuando la temperatura superficial es menor que la temperatura de rocío empezará poco a poco a aparecer gotas y a ir condensando el aire.

Se da un enfriamiento porque la temperatura superficial de los tubos está entre la del refrigerante y la del aire fuera e irá cambiando según las filas de profundidad en la que se encuentre el tubo, porque el aire se va enfriando.

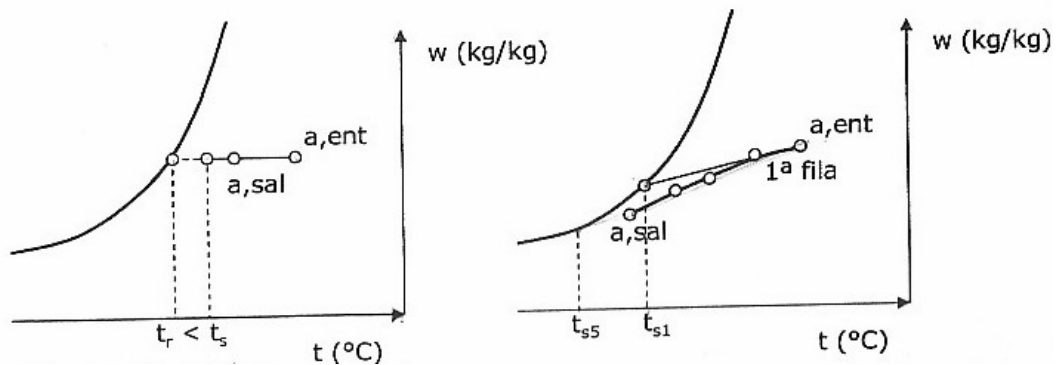


Figura 2.41: Izquierda, Enfriamiento sin deshumidificación ;
Derecha, enfriamiento con deshumidificación.

Al final del proceso, cuando el aire ya ha pasado por todas las filas tengo un punto de entrada y otro punto de salida. El calor implicado en este proceso es precisamente la potencia frigorífica, este calor se invierte en enfriarlo y quitarle humedad.

2.5.3. Temperatura de ADP y Factor de Bypass

Si se une la temperatura del aire a la entrada con la temperatura del aire a la salida (aire de la última fila de tubos) da una recta, el punto donde corte esta recta a la curva de saturación esa es la temperatura de ADP.

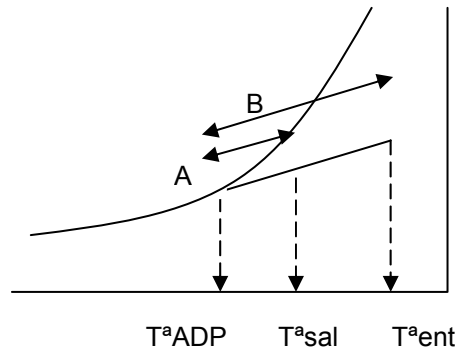


Figura 2.42: Temperatura de ADP

La temperatura de ADP debe ser pequeña, ya que es el punto donde el aparato empieza a condensar. Si se sitúa por debajo de la temperatura de rocío, se perderá menos agua.

El inconveniente de que tenga un aparato la temperatura de ADP pequeña es que el aparato debe tener área grande.

Si el ADP es mayor se perderá humedad. En el caso de que se tenga un punto de ADP pequeño y se siga secando se deben añadir humidificadores (sprays).

El factor de bypass es el cociente que resulta de dividir la diferencia de entalpías entre la salida y punto de ADP, entre la diferencia de entalpías entre la entrada y el punto de ADP. Es decir, en el anterior gráfico se puede observar, que el factor de bypass es similar a dividir el segmento A entre el B.

$$F.B = \frac{h_{sal} - h_{ADP}}{h_{ent} - h_{ADP}}$$

donde:

h_{sal} es la entalpía en el punto de salida

h_{ent} es la entalpía en el punto de entrada

h_{ADP} es la entalpía en el punto de ADP

2.5.4. Ventiladores

Con los ventiladores lo que se consigue es aumentar la convección y el caudal que pasa por fuera de los tubos del intercambiador. Los ventiladores pueden ser axiales o centrífugos.

Los evaporadores utilizan ventiladores axiales, estos ventiladores tienen mejor rendimiento con una pérdida de carga baja.

Si estuviese conectado a una red se utilizan ventiladores centrífugos, aunque su pérdida de carga sea mayor.

La colocación de los ventiladores:

- Delante de la batería (draw-through)
 - Crea depresión en la batería
 - Dirige mejor el aire
 - En distancias largas se recomienda
- Detrás de la batería (blow-through)
 - No dirige bien el aire
 - Usado en distancias cortas
 - La potencia frigorífica de este tipo de disposición es mayor que la potencia frigorífica que Draw through.

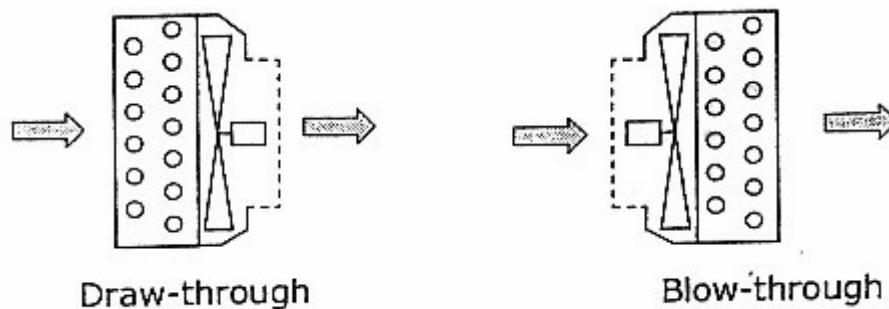


Figura 2.43: Distintas disposiciones de los ventiladores en las baterías

3. EQUIPOS DE CLIMATIZACIÓN

3.1. Clasificación de equipos de aire acondicionado

Los sistemas de climatización se pueden dividir en primer lugar atendiendo al tipo de expansión, en equipos autónomos o de expansión directa y equipos centralizados o de expansión indirecta.

- Equipos autónomos o de expansión directa: estos equipos tienen un intercambio directo entre el aire a acondicionar y el refrigerante, el aire se enfría por la expansión directa de un refrigerante. No utilizan agua como fluido caloportador y presentan baterías de expansión directa (evaporadores o condensadores). El equipo puede producir frío sólo o frío y calor.

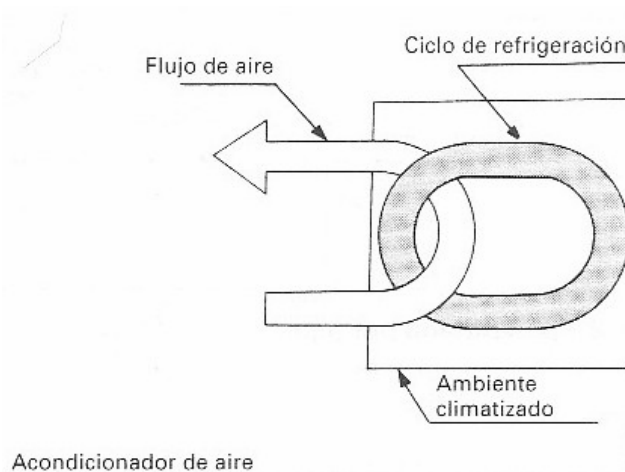


Figura 3.1: Esquema de la expansión directa

- Equipos centralizados o de expansión indirecta: estos equipos presentan un intercambio indirecto entre el aire a acondicionar y el refrigerante a través de agua como fluido intermedio (sistemas hidrónicos) o salmuera. Las baterías que presentan son baterías de agua fría o caliente.

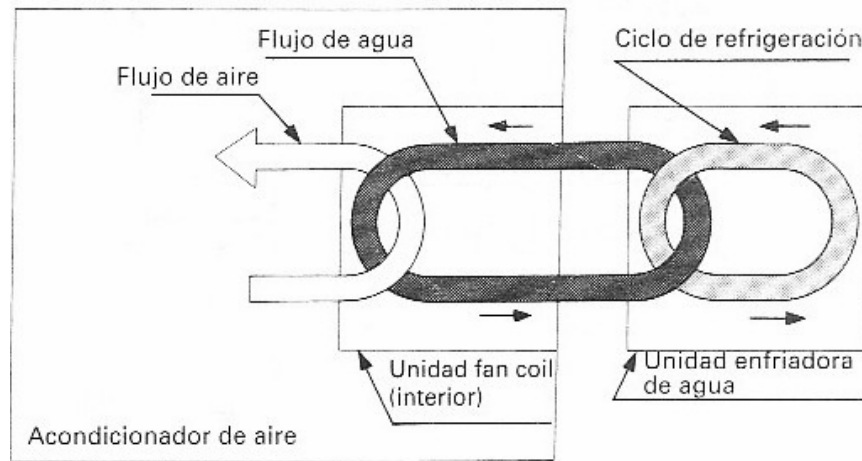


Figura 3.2: Esquema de la expansión indirecta

3.1.1. Diferencias entre equipos autónomos y equipos centralizados

Algunas de las diferencias entre los equipos autónomos y centralizados se citan a continuación:

- La temperatura de evaporación de los equipos autónomos es mayor que la de los centralizados con una diferencia aproximada de 5°C.
- La fuente de calor de los equipos centralizados son calderas y bombas de calor aire-agua, frente los equipos autónomos que tienen como fuente de calor bombas de calor aire-aire, resistencia eléctricas, y calentador de gas.
- El nivel de filtrado de los equipos centralizados supera al de los autónomos.
- El montaje de los equipos centralizados se realiza en obra y el de los equipos autónomos viene montados de fábrica, no existiendo muchos cambios en obra. Por esto la dificultad de la instalación de los equipos centralizados es mayor que la de los equipos autónomos.
- Los equipos autónomos requieren un mantenimiento mayor que los centralizados.
- El nivel de ruido de los equipos autónomos es mayor que los centralizados.
- La robustez y fiabilidad de los equipos centralizados es mayor que la de los equipos autónomos.
- El espacio que ocupa los equipos centralizados es mayor que el espacio que ocupan los equipos autónomos.

- Los costos iniciales de los equipos centralizados suelen ser mayores que los de los equipos autónomos.

3.1.2. Clasificación de los equipos autónomos o de expansión directa

- Atendiendo al fluido en contacto directo con el condensador se distinguen:
 - Equipos condensados por aire (air-cooled). Son los llamados equipos aire-aire. Extraen el calor del aire exterior y lo transfieren a los locales mediante una red de conductos.

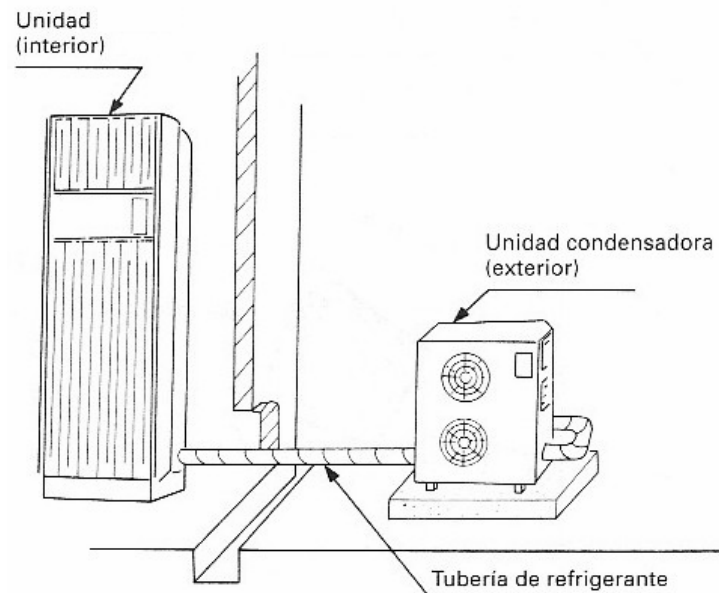


Figura 3.3 : Equipo autónomo partido condensado por aire

- Equipos condensados por agua (water-cooled), son los llamados equipos agua- aire. El agua utilizada para la condensación puede ser agua de una torre de enfriamiento o puede ser agua perdida de pozos, lagos, ríos, etc. Producen unos rendimientos energéticos mejores que las que utilizan aire exterior, debido a la menor temperatura de condensación y la mayor uniformidad de la temperatura a lo largo del año.

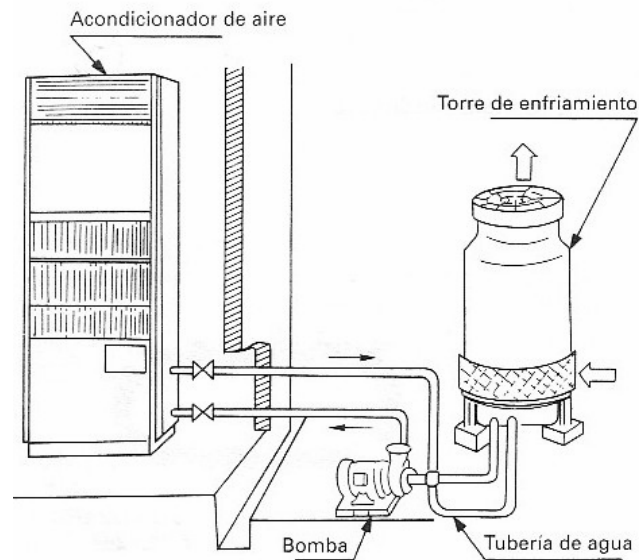


Figura 3.4: Equipo autónomo compacto condensado por agua

Cuando el fluido al que se le cede o absorbe calor es el aire se utiliza un intercambiador de tubos y aletas, si este fluido es el agua el intercambiador recomendado es de carcasa y tubo.

Los equipos condensados por aire son más ruidosos que los condensados por agua, y a parte para un mismo consumo de potencia aportan menos potencia frigorífica y calorífica.

- Condensador evaporativo (evaporatively-cooled). Como ya se explicó en el apartado 2.4.3.1. de este proyecto, en este tipo de condensadores se evapora agua situada en la superficie de los tubos por los que circula el refrigerante. Este tipo de condensadores tienen un rendimiento muy alto porque usan temperaturas de condensación bajas, pero tienen unos costes muy altos, lo que hace que su uso sea escaso.

▪ Atendiendo a la inversión térmica que sea capaz de realizar la máquina, los equipos pueden ser:

- Irreversibles: Solo pueden dar frío o calor.

- Reversibles: Dan frío y calor. Las fuentes de calor usadas son: resistencias eléctricas, calentamiento de gas (intercambiador de gases combustión-aire) y bombas de calor con la inversión del ciclo por una válvula de cuatro vías.

▪ Atendiendo al número de unidades que se divide el ciclo de refrigeración, pueden ser compactos o divididos.

Los acondicionadores compactos están formados por una única unidad.

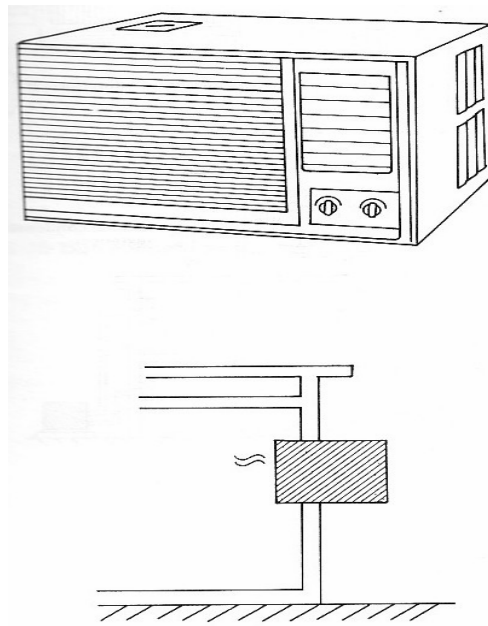


Figura 3.5: Equipo autónomo de ventana

Los acondicionadores divididos también se llaman splits, y pueden estar:

- formados por dos unidades, lo que se denomina Split (unidad exterior y unidad interior)

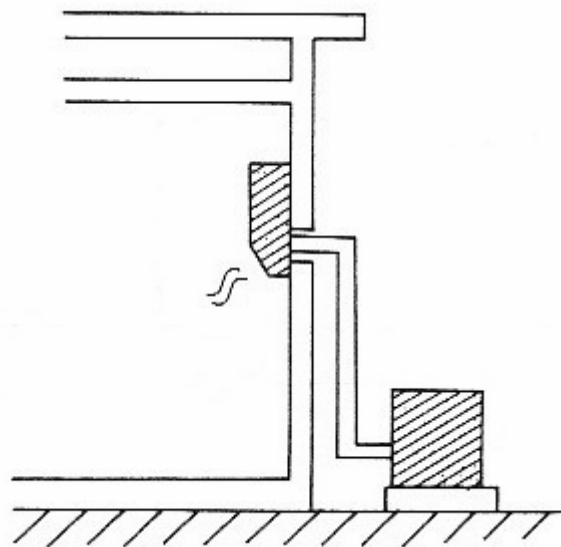


Figura 3.6: Equipo autónomo tipo Split

- Multi-Splits (Una unidad exterior conectada a varias unidades interiores).

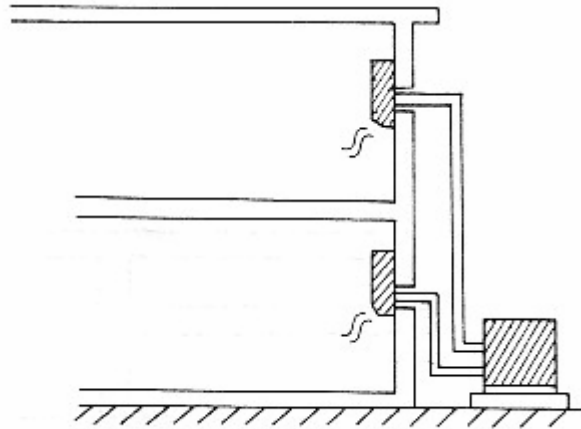


Figura 3.7: Equipo autónomo Multi- Split, formado por dos unidades interiores y la unidad exterior.

En los equipos Splits, la unidad interior se sitúa en el local a climatizar y está compuesta fundamentalmente por el evaporador y ventilador, y la unidad exterior está compuesta por condensador y ventilador. Aunque el compresor puede estar en una parte u otra, normalmente está en la parte exterior.

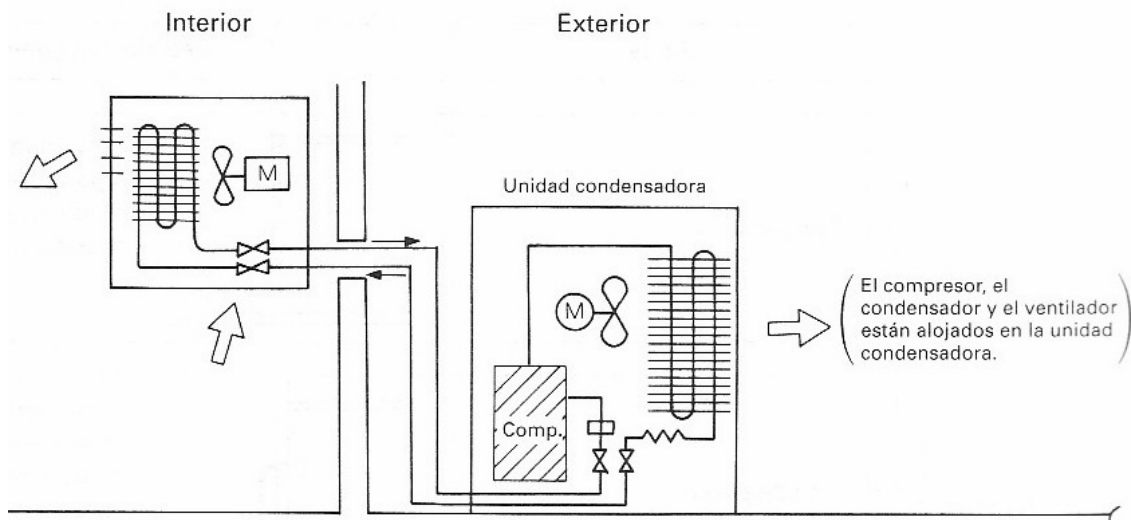


Figura 3.8: Split con el compresor en la unidad exterior

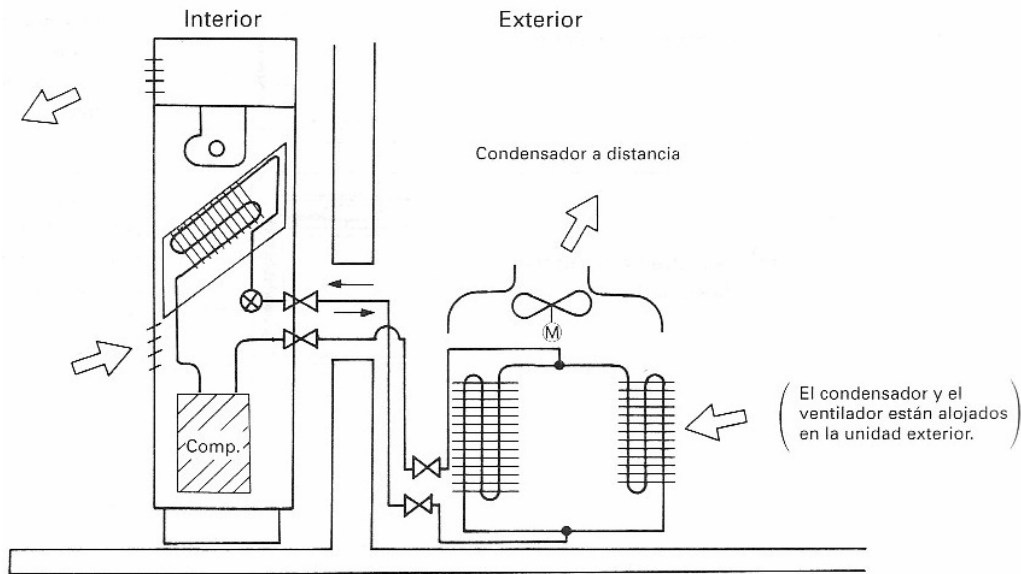


Figura 3.9: Split con el compresor en la unidad interior

Si se compara un sistema partido con uno compacto, se pueden destacar algunas diferencias:

- En los sistemas compactos se precisa un orificio grande, mientras que para un sistema partido, se necesita un orificio pequeño para las tuberías de refrigerante.
- Los equipos compacto realizan más ruido que los partidos, pero se debe tener en cuenta que el ruido que realizan los equipos partidos lo hacen en el exterior.
- En los equipos compactos existe la posibilidad de ventilación, ya que el mismo aparato está conectado al exterior y el interior, sin embargo en un equipo partido no tiene esta posibilidad al tener un aparato en la zona exterior y otro en la zona interior.
- Atendiendo al tipo de descarga:
 - Directa: El equipo descarga directamente al local
 - Indirecta: La descarga ocurre a través de conductos
- Atendiendo al tipo de localización de la unidad interior:
 - Tipo suelo: La unidad se instala en el suelo, a partir de la cual se distribuye ampliamente el aire acondicionado.



Figura 3.10: Unidad interior tipo suelo

- Tipo de pared: La unidad se instala en el medio de la pared, así se consigue que se aproveche eficazmente el espacio del ambiente.



Figura 3.11: Unidad interior tipo pared

- Tipo horizontal de techo: La unidad se suspende del falso techo y distribuye horizontalmente el aire acondicionado.



Figura 3.12: Unidad interior tipo horizontal de techo

- Tipo cassette: La unidad se instala en el falso techo de tal forma que se puede utilizar totalmente el espacio del ambiente. Es mejor desde el punto de vista del diseño interior que el modelo horizontal de techo.



Figura 3.13: Unidad interior tipo cassette

3.1.3. Equipos de expansión indirecta. La enfriadora de agua

Los equipos de producción de agua fría están especialmente indicados para los grandes sistemas de acondicionamiento de aire por las ventajas que ofrece en cuanto a distribución y a la centralización de la producción de frío.

El agua se utiliza como refrigerante secundario. El agua es enfriada en transferencia térmica con un refrigerante. Posteriormente, el agua se distribuye para el acondicionamiento del aire.

Las plantas enfriadoras se pueden dividir en dos grupos según el medio que se utilice para el intercambio de calor con el refrigerante en el condensador. Se clasifican según:

- Enfriadoras de agua condensadas por agua, o equipos agua- agua:

Se benefician del calor específico del agua y su calor latente de vaporización. Requieren una red de suministro de agua, los emisores son radiadores a baja temperatura, fan-coils o suelo radiante y permiten mantener un COP constante y elevado durante toda la temporada.



Figura 3.14: Enfriadora de agua condensada por agua

- Enfriadoras de agua condensadas por aire, o equipos aire- agua:

El aire se toma del ambiente, sin embargo, su bajo calor específico obliga a mover grandes cantidades del mismo para un buen intercambio térmico, lo que hace que sea necesario el uso de ventiladores.

El uso de las plantas enfriadoras de agua condensadas por aire se está extendiendo cada vez más en sustitución de los modelos condensados por agua. El precio del metro cúbico de agua y las restricciones en su consumo que dicho coste implica, inclina la balanza a favor de las plantas condensadas por aire. Además hay otros factores, tales como el problema de la legionella, asociado a las torres de refrigeración, hacen que el uso de plantas condensadas por aire crezca cada vez más en importancia.

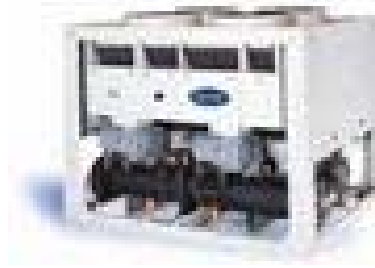


Figura 3.15: enfriadora de aire condensada por aire

Otros criterios de clasificación de las plantas enfriadoras son:

- Enfriadoras de agua reversibles (son capaces de producir agua caliente y agua fría) o solo frío.
- Enfriadoras de agua pueden ser partidas o compactas.

3.2. La bomba de calor

La bomba de calor son aparatos de refrigeración que pertenecen al grupo de equipos autónomos, reversibles.

La refrigeración consistía en la eliminación de calor de un lugar en que no resulta deseable y su depósito en un lugar donde su presencia no moleste. De hecho, el calor puede llevarse a un lugar donde sí que se desee su presencia, recuperando así el calor. En esto radica la diferencia entre una bomba de calor y un aparato de solo frío. Con el acondicionador de solo frío solo se puede bombear el calor en un sentido, mientras que la bomba de calor es un sistema de refrigeración que puede bombear calor en ambos sentidos.

Si se compara con cualquier otro sistema eléctrico, las bombas de calor son unos sistemas rentables a largo plazo, con un ahorro de energía considerable. Un convector tradicional de calefacción mediante energía eléctrica obtiene de un consumo de 1 kWh de energía eléctrica 1 kWh de calor, en cambio, una bomba de calor de 1 kWh de consumo eléctrico produce 3 kWh de calor. Este importante ahorro energético es debido a que el transporte de calor requiere exclusivamente el consumo eléctrico del compresor y del ventilador.

El funcionamiento de la bomba de calor viene dado por el ciclo de compresión al igual que en el ciclo de refrigeración, lo que diferencia al equipo de solo frío con la bomba de

calor es que en ésta se incorpora una válvula de cuatro vías, para regular la dirección del flujo de calor.

El hecho de que la bomba de calor se pueda utilizar tanto como calefactor como refrigerador exige que las baterías interior y exterior funcionen como condensador y como evaporador, respectivamente, en régimen de calefacción y como evaporador y condensador en régimen de refrigeración.

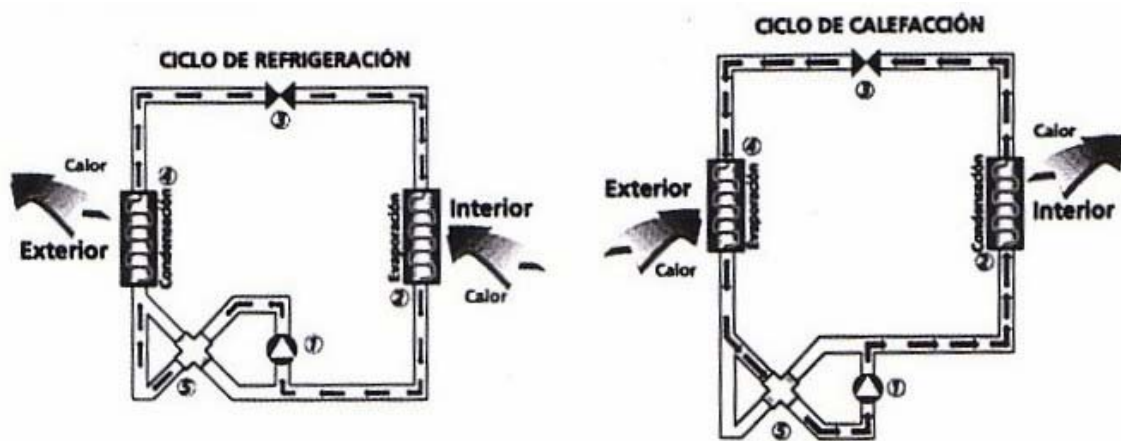


Figura 3.16: Funcionamiento en refrigeración y calefacción de una bomba de calor.

El dispositivo de expansión que utiliza debe ser de un tipo especial ya que debe funcionar indistintamente en ambos sentidos.

3.2.1. Válvula de cuatro vías

Esta válvula dirige el gas de descarga y el calor en la dirección apropiada, con el fin bien de calentar el espacio acondicionado, o de enfriarlo.

Durante el ciclo de refrigeración, el refrigerante sale del conducto de descarga del compresor en forma de gas caliente. El gas caliente entra en la válvula de cuatro vías y sale hacia la batería exterior que hace de condensador, donde se expelen calor hacia el exterior. El refrigerante se condensa, sale del condensador en estado líquido y fluye hacia la batería interior por la válvula de expansión. El refrigerante se expande y en la batería interior, que hace de evaporador se convierte en vapor. El vapor caliente sale del evaporador entra en el cuerpo de la válvula de cuatro vías. El pistón de la válvula dirige

el refrigerante hacia el conducto de aspiración del compresor, donde el refrigerante se comprime, y el ciclo vuelve a empezar.

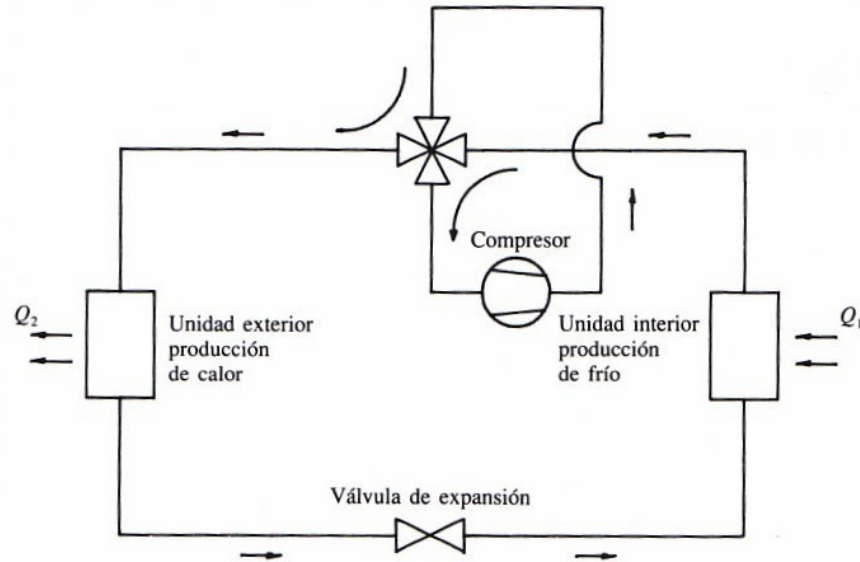


Figura 3.17: Esquema del ciclo de refrigeración.

El ciclo de calefacción, consiste en que el gas caliente sale del compresor y entra en el cuerpo de la válvula de cuatro vías, como en el caso anterior. Sin embargo, ahora el pistón de la válvula de cuatro vías cambia a la posición de calefacción y el gas caliente entra en el serpentín interior. El serpentín actúa como condensador y expelle calor hacia el espacio acondicionado. El refrigerante se condensa y sale del serpentín interior en estado líquido. Atraviesa la válvula de expansión y llega al serpentín exterior. El refrigerante se expande y absorbe calor mientras se convierte en vapor. El vapor caliente sale del serpentín exterior y entra en la válvula de cuatro vías. La válvula lo dirige hacia el conducto de aspiración del compresor. El vapor se comprime y se desplaza hacia el conducto de descarga del compresor, para repetir el ciclo.

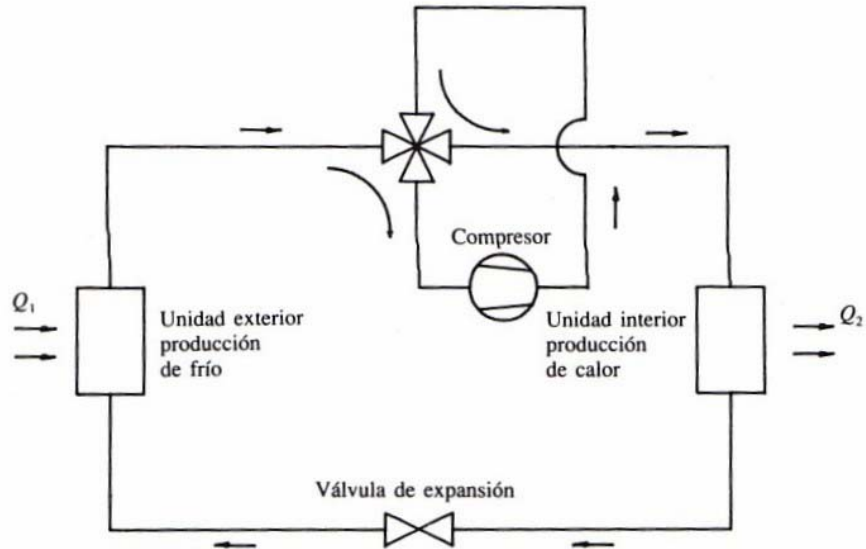


Figura 3.18: Esquema del ciclo de calefacción.

3.3. Condiciones Eurovent

Eurovent es una asociación europea de fabricantes de equipos de tratamiento de aire y climatización (Fundada en 1959). Compuesta por 14 asociaciones nacionales que representan a fabricantes de aire acondicionado en Europa (AFEC en España), así como agentes de fabricantes no europeos.

Esta asociación crea programas de certificación de equipos de climatización. Los programas comparan las características técnicas de los productos realizando unas pruebas, basadas en procedimientos bien definidos (las normas de ensayo están basadas en las normas "CEN" o "ISO") con lo que se consigue una competencia justa en el mercado europeo.

La ventaja de que los fabricantes pertenezcan a los programas de Eurovent, es que los usuarios pueden seleccionar estos productos con la garantía de que las características anunciadas en los catálogos son fiables. Aunque, por otra parte, la participación en los programas obliga a los fabricantes a certificar todos sus modelos incluidos en el campo de aplicación del programa seleccionado.

La clasificación de los equipos autónomos que da Eurovent, son:

- Climatizadores de confort de una potencia frigorífica inferior a 12 kW.
- Climatizadores de confort de una potencia frigorífica comprendida entre 12 y 45kW.
- Climatizadores de confort de una potencia frigorífica comprendida entre 45 y 100kW.

Algunas de las definiciones que da Eurovent asociadas a equipos autónomos, son:

- Capacidad frigorífica total (kW). Es el calor absorbido del aire por el acondicionador en un intervalo de tiempo determinado.
- La capacidad calorífica total es el calor emitido por un acondicionador de ciclo reversible en un intervalo de tiempo determinado.

Las definiciones de capacidad frigorífica total y calorífica total no resultan muy claras, ya que no se especifica en ellas a qué intervalo de tiempo determinado se refieren. Lo mismo ocurre con la siguiente definición.

- Potencia absorbida útil en frío/calor (kW). Es la potencia eléctrica media absorbida por la unidad dentro de un intervalo de tiempo determinado y compuesta por:
 - Potencia absorbida por el compresor y por el sistema de desescarche excluyendo dispositivos de calefacción eléctrica adicional no empleados para dicho desescarche.
 - Potencia absorbida de todos los dispositivos de control y de seguridad de la unidad.
 - Potencia absorbida proporcional de los vehiculadores de aire o agua (p.ej. ventiladores y bombas) necesaria para el movimiento del medio de transmisión dentro del acondicionador.
- Potencia sonora, dB(A). La potencia sonora es un valor numérico de una determinada escala que está en relación directa a la valoración subjetiva del nivel sonoro de un ruido.

Las características que certifica Eurovent de los equipos autónomos son:

- Capacidad frigorífica y calorífica total.
- Potencia absorbida útil funcionando en frío y calor.
- Potencia sonora de la unidad exterior (sin conductos).
- Potencia sonora de la unidad interior (sin conductos).
- Potencia sonora radiada desde el conducto (unidades con conducto).

Las condiciones de ensayo en temperaturas para los acondicionadores de aire, tanto compactos como partidos, se recogen en la siguiente tabla.

Tipo	Unidad Interior		Unidad exterior			
	Aire		Aire		Agua	
	Ts(°C)	Th(°C)	Ts(°C)	Th(°C)	Tent(°C)	Tsal(°C)
Refrigeración	27	19	35	24	30	35
Calefacción	20	15	7	6	5	

Tabla nº 3.1: Condiciones de ensayo Eurovent para equipos autónomos.

En los enfriadores de agua, algunas definiciones que proporciona Eurovent, son:

- Capacidad frigorífica bruta (kW).

La capacidad frigorífica bruta es el calor cedido por el líquido al refrigerante en la unidad de tiempo. Se define como el producto de multiplicar el caudal de líquido por la diferencia de entalpía entre la entrada y salida del líquido corregida teniendo en cuenta el calor generado por la bomba que actúa contra la pérdida de carga en el evaporador.

Esta definición resulta un poco confusa, lo que parece interpretarse de ella, es que para conocer realmente el calor que está aportando el agua al refrigerante, se le resta al calor intercambiado entre agua y refrigerante, el calor que aporta la bomba al agua.

- Capacidad calorífica bruta es el calor transmitido por el refrigerante al líquido por unidad de tiempo, (kW).

En este caso no se indica nada si hay que corregir el calor con el efecto de la bomba. Si así fuera no habría más que al calor intercambiado se le sumaría en este caso el calor de la bomba.

- Potencia absorbida útil en calefacción y refrigeración. Es similar a la definición en equipos autónomos, (kW).

- Presión disponible de líquido para unidades con bomba integrada, (kPa). La presión disponible se refiere a la presión que hay en el agua a la salida de la bomba, esto dará

idea del circuito que puedo conectar, ya que no deberá tener mayores pérdidas de carga que el máximo que me da la presión disponible. En el caso de que necesite mayor presión disponible, obligará a conectar otra bomba.

- Pérdida de carga del líquido en el evaporador. Es la diferencia de presiones entre la entrada y salida del evaporador, (kPa).
- Niveles de potencia sonora, dB(A).
- Pérdida de carga del líquido en el condensador, (kPa). Es la diferencia de presiones entre la entrada y la salida del condensador.
- Coeficientes de eficiencia energética en calefacción y refrigeración.

Las características certificadas por Eurovent de las enfriadoras de agua, son:

- Capacidad frigorífica bruta
- Potencia absorbida útil para refrigeración
- Pérdida de carga en el evaporador para refrigeración (unidades sin bomba)
- Presión disponible en el evaporador para refrigeración (unidades con bomba)
- Pérdida de carga del condensador para refrigeración
- Nivel de potencia sonora dBA
- Potencia calorífica bruta para las unidades reversibles
- Potencia absorbida útil para calefacción
- Pérdida de carga a través de la evaporación para calefacción (unidades sin bomba)
- Presión disponible en el evaporador para calefacción (unidades con bomba)
- Pérdida de carga a través del condensador para calefacción
- Eficiencia energética bruta para refrigeración
- Coeficiente de rendimiento bruto para calefacción

En las enfriadoras de agua Eurovent proporciona una serie de nomenclaturas para las características. Estas nomenclaturas son las siguientes:

- Pc: Capacidad frigorífica total, en kW.
- Ph: Capacidad calorífica, en kW.
- Pe (c): Potencia absorbida útil en refrigeración, kW.
- Ph (c): Potencia absorbida útil en calefacción, kW.

- Dp: Pérdida de agua en el circuito de agua, kPa.
- Ap: Presión disponible, kPa.
- Lw: Nivel de potencia acústica, dB(A).

Las condiciones de temperatura de ensayo para los equipos centralizados de agua fría o caliente se dan en la siguiente tabla.

Tipo planta	Refrigeración		Calefacción	
	Evaporador	Condensador	Evaporador	Condensador
Aire/Agua	12 / 7	35	40 / 45	7 (6)
Agua/Agua	12 / 7	30 / 35	40 / 45	10

Tabla nº 3.2: Condiciones de ensayo Eurovent para enfriadoras de agua.

Las características obtenidas con estas condiciones de temperatura, como puede ser capacidades y consumos, se dice que están halladas en condiciones nominales. Los catálogos de los equipos deben incluir estas características nominales.

Los ensayos se realizarán bajo 230 V en Monofásico y 400 V en Trifásico, excepto requisito particular del participante.

La temperatura ambiente que rodea a las unidades, conductos de entrada y salida ha de ser comprendida entre 15°C y 30°C.

3.3.1. Etiquetado de eficiencia energética

El etiquetado de eficiencia energética lo que hace es una clasificación de los equipos según la Directiva 2002/31/EC. La clasificación se basa en el rendimiento, ya sea en refrigeración, EER, como en calefacción, COP.

En función a esto, se le asigna a cada equipo una clase. Los equipos que tengan peor rendimiento, se le otorgará la clase G con color rojo, y los que tengan mejor rendimiento se les asignará la clase A con color verde.

Este etiquetado es obligatorio desde finales de Junio de 2004, para equipos que no superen 12 kW de potencia de refrigeración.

A continuación, se presentan las tablas de etiquetado energético, según el EER para refrigeración o el COP, para calefacción..

Clase	Condensados por aire		Condensados por agua	
	Multi-Splits	Compactos	Multi-Splits	Compactos
A	$3.20 < \text{EER}$	$3 < \text{EER}$	$3.60 < \text{EER}$	$4.40 < \text{EER}$
B	$3.20 \geq \text{EER} > 3.00$	$3 \geq \text{EER} > 2.80$	$3.60 \geq \text{EER} > 3.30$	$4.40 \geq \text{EER} > 4.10$
C	$3.00 \geq \text{EER} > 2.80$	$2.80 \geq \text{EER} > 2.60$	$3.30 \geq \text{EER} > 3.10$	$4.10 \geq \text{EER} > 3.80$
D	$2.80 \geq \text{EER} > 2.60$	$2.60 \geq \text{EER} > 2.40$	$3.10 \geq \text{EER} > 2.80$	$3.80 \geq \text{EER} > 3.500$
E	$2.60 \geq \text{EER} > 2.40$	$2.40 \geq \text{EER} > 2.20$	$2.80 \geq \text{EER} > 2.50$	$3.50 \geq \text{EER} > 3.20$
F	$2.40 \geq \text{EER} > 2.20$	$2.20 \geq \text{EER} > 2$	$2.50 \geq \text{EER} > 2.20$	$3.20 \geq \text{EER} > 2.90$
G	$2.20 \geq \text{EER}$	$2 \geq \text{EER}$	$2.20 \geq \text{EER}$	$2.90 \geq \text{EER}$

Tabla 3.3: Clasificación de los equipos autónomos para refrigeración según el nivel de eficiencia energética.

Clase	Condensados por aire		Condensados por agua	
	Multi-Splits	Compactos	Multi-Splits	Compactos
A	$3.60 < \text{COP}$	$3.40 < \text{COP}$	$4.00 < \text{COP}$	$4.70 < \text{COP}$
B	$3.60 \geq \text{COP} > 3.40$	$3.40 \geq \text{COP} > 3.20$	$4.00 \geq \text{COP} > 3.70$	$4.70 \geq \text{COP} > 4.40$
C	$3.40 \geq \text{COP} > 3.20$	$3.20 \geq \text{COP} > 3.00$	$3.70 \geq \text{COP} > 3.40$	$4.40 \geq \text{COP} > 4.10$
D	$3.20 \geq \text{COP} > 2.80$	$3.00 \geq \text{COP} > 2.60$	$3.40 \geq \text{COP} > 3.10$	$4.10 \geq \text{COP} > 3.80$
E	$2.80 \geq \text{COP} > 2.60$	$2.60 \geq \text{COP} > 2.40$	$3.10 \geq \text{COP} > 2.80$	$3.80 \geq \text{COP} > 3.50$
F	$2.60 \geq \text{COP} > 2.40$	$2.40 \geq \text{COP} > 2.20$	$2.80 \geq \text{COP} > 2.50$	$3.50 \geq \text{COP} > 3.20$
G	$2.40 \geq \text{COP}$	$2.20 \geq \text{COP}$	$2.50 \geq \text{COP}$	$3.20 \geq \text{COP}$

Tabla 3.4: Clasificación de los equipos autónomos para calefacción según el nivel de eficiencia energética.

3.4. Modos de control en equipos de climatización

- Control todo-nada

En estos sistemas el compresor se pone en funcionamiento cuando el termostato percibe una temperatura inferior a la de su punto de consigna y se para cuando detecta una temperatura superior. Entonces su funcionamiento se basa en el compresor a pleno rendimiento o apagado, es decir, los compresores arrancan y paran frecuentemente.

Cuando se pone en marcha el sistema, arranca el compresor y se mantiene en funcionamiento hasta que se alcanza la temperatura solicitada. En ese momento el compresor para y no se volverá a poner en marcha hasta que la temperatura lo solicite de nuevo.

Es el sistema de funcionamiento de los equipos de climatización más comunes ya que es el tipo de acondicionadores de coste inicial menor.

- Control por etapas

Este modo de control se usa en equipos con compresores de tornillo. La regulación se realiza gracias a una válvula corredera discreta. Cuando se mueve, una parte del gas que está en la cámara cerrada sale, por tanto comprime menos cantidad. Entonces, se dice que el equipo trabaja a carga parcial.

También es un modo típico de funcionamiento de los compresores alternativos, en ellos se consigue un control por etapas con la carga y descarga de cilindros.

-Control Proporcional.

La cantidad de fluido refrigerante bombeado a las baterías aumenta o disminuye proporcionalmente a la proximidad de la temperatura del local con respecto al punto de consiga.

Los sistemas Inverter consiguen que el compresor, en lugar de parar, baje el régimen de funcionamiento, consiguiendo evitar continuos arranques y paradas del compresor, reduciendo así el consumo del sistema y manteniendo la temperatura real con menos variaciones sobre la temperatura solicitada y a un menor nivel sonoro.

Este sistema de control es el que usa los equipos de climatización llamados Inverter y los sistemas de caudal de refrigerante variable.

Los compresores de tornillo que usan este modo de control tienen la válvula de corredera continua. Los compresores scroll también son usados con este tipo de control.

3.5. Tecnología Inverter

El régimen del compresor Inverter se adapta a la variabilidad de la carga térmica del edificio.

Los sistemas convencionales trabajan en corriente alterna y regulan la temperatura con un control todo-nada o por etapas, los sistemas de tecnología inverter son capaces de variar la corriente en el compresor de alterna a continua y variar su velocidad para ajustar las potencias frigoríficas a las demandas energéticas.

Algunas de las ventajas de la tecnología Inverter, son:

- Se consiguen grandes ahorros energéticos, gracias al funcionamiento del régimen del compresor.
- Reducidos niveles sonoros.
- Se alcanza antes la temperatura deseada.
- Reducción de las fluctuaciones de temperatura (mayor confort).

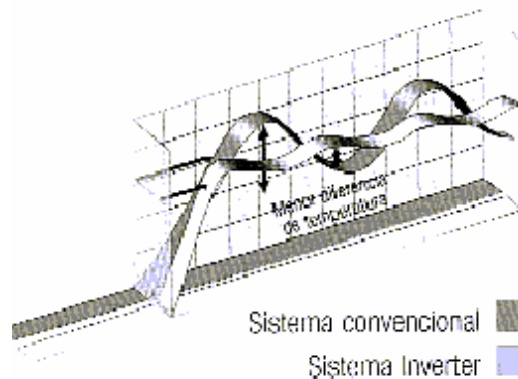


Figura 3.19: Diferencias de fluctuaciones de temperatura entre sistema inverter y sistema convencional

Los elementos fundamentales del sistema Inverter son:

- Convertidor: transforma la corriente alterna (CA) en corriente continua (CC).
- Inverter: dispositivo electrónico de control situado en la unidad exterior con esto se consigue cambiar la frecuencia y por tanto variar la velocidad del compresor.
- Compresor: compresor especial de velocidad variable.



Figura 3.20: Diagrama de flujo del sistema Inverter.

Los compresores utilizados normalmente por los fabricantes son compresores Scroll y compresores Rotativos.

La tecnología Inverter se utiliza en algunos equipos autónomos y en los sistemas VRV.

El ahorro energético comparado con la tecnología estándar de este tipo de equipos Inverter llega hasta un 30%.

3.6. Sistemas de volumen de refrigerante variable para el acondicionamiento de aire

3.6.1. Introducción a los sistemas de Caudal Variable de Refrigerante

Los Sistemas de Caudal Variable de Refrigerante son sistemas de climatización relativamente modernos en comparación con otros sistemas (sistemas todo aire, todo agua, etc.) que se han utilizado desde hace años.

Estos sistemas, gracias a un sistema complejo de control han conseguido que sean muy sofisticados tecnológicamente. Se han expandido mucho en los últimos tiempos y cada vez es más común su uso. Son conocidos en el mercado con las iniciales en inglés VRF (Variable Refrigerant Flow), VRV (Variable Refrigerant Volume) o en español CVR.

Han surgido de la evolución de los sistemas Multi-Split, con tecnología Inverter y consiguen que se cumplan con lo que se le demanda hoy en día a un sistema de climatización: facilidad de diseño, flexibilidad, eficiencia energética, fiabilidad, facilidad de instalación, reducido mantenimiento, silencioso, facilidad de uso y respetuoso con el medio ambiente.

Son sistemas de bomba térmica reversible que permiten conectar varias unidades interiores con una sola unidad exterior a través de dos tuberías de cobre, debidamente aisladas según la Normativa correspondiente, por donde circula el fluido refrigerante.

Los Sistemas de Caudal Variable de Refrigerante son ideales para aplicaciones de carga variable, ya que su diseño se basa en la tecnología Inverter.

Lo que se consigue es que se ajuste la cantidad de calor que se absorbe o se cede a la demanda de cada zona, incluso pudiendo trasvasarse calor de unas zonas a otras.

Estos sistemas presentan múltiples aplicaciones tales como oficinas, hoteles, comercios, residencias, viviendas unifamiliares, bloques de apartamentos, etc., y son muy empleados en reformas de edificios. Son principalmente aplicaciones comerciales y residenciales

3.6.2. Tipos de unidades de Caudal Variable de Refrigerante

Hay 3 tipos de sistemas dentro del Caudal Variable de Refrigerante, atendiendo al modo en que funcionan:

- Sólo frío: La potencia que entrega solo es de refrigeración. Son los sistemas menos usados.
- Bomba de calor: Todas las unidades interiores funcionan en modo frío o en modo calor. Son los sistemas más usados.
- Recuperación de calor: Pueden dar calor y frío simultáneamente adecuándose a las necesidades de cada zona. Estos sistemas se usan menos porque tienen mayor coste inicial.

Atendiendo al sistema de distribución del refrigerante, se pueden distinguir:

- Sistemas a dos tubos: tubería de líquido y tubería de gas (aspiración en frío y descarga en calor).
- Sistemas a tres tubos: tubería de líquido, tubería de aspiración de gas y tubería de descarga de gas.

Atendiendo a los fluidos que están en contacto con el refrigerante:

- Sistemas aire-aire: el fluido que utilizan para la condensación es el aire exterior. Son los sistemas bombas de calor y recuperación de calor.
- Sistemas agua-aire: el fluido que utilizan para la condensación es el agua. Se usan también para bombas de calor pero mucho menos que los sistemas aire-aire.

En el Anexo, se recogen los datos más característicos de las unidades interiores y exteriores de los equipos de caudal de refrigerante variable.

3.6.3. Funcionamiento de los sistemas de caudal variable de refrigerante

El funcionamiento de estos sistemas es parecido al de las bombas de calor que tienen tecnología Inverter. Pueden controlar el caudal de refrigerante y en consecuencia a esto, controla la potencia frigorífica o calorífica que puede dar y por tanto, la temperatura de cada recinto a climatizar.

Por lo comentado anteriormente, lo que consume en estas unidades no es el total, sino que es función de la potencia que entrega en cada caso, lo que conlleva un importante ahorro energético.

El control del refrigerante, se consigue regulando el funcionamiento del motor del compresor. El motor del compresor tiene un dispositivo que hace variar su frecuencia entre 20 y 100 Hz, como en los equipos Inverter. Así el compresor trabajará a menor o mayor rendimiento dependiendo de la información recibida del sistema de control del local. Con esto se consigue que el compresor reduzca las marchas y los paros que son lo que provoca el desgaste del mismo.

Lo que consigue estos efectos de regulación de cantidad de refrigerante, son la tecnología Inverter de los compresores y las válvulas de expansión electrónicas (PMV – Pulse Motor Valve) o válvulas de modulación de impulsos, incorporadas en unidades interiores y exteriores.

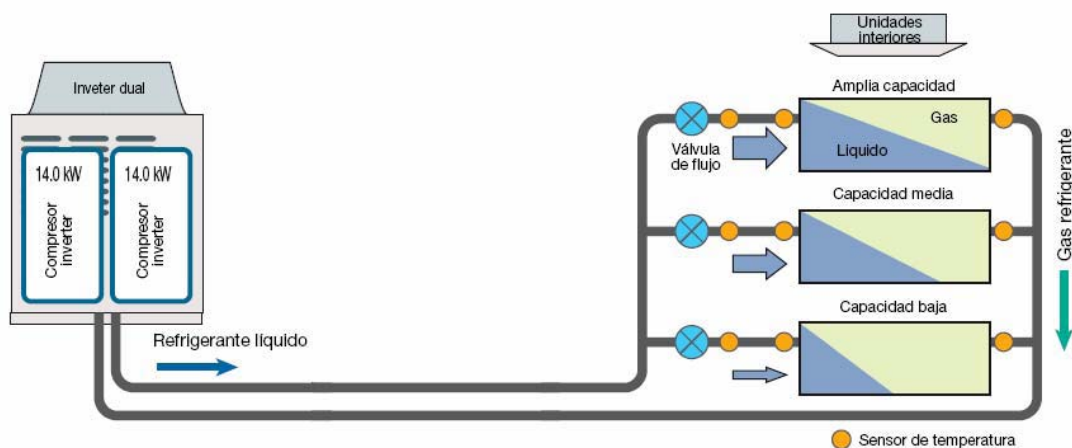


Figura 3.21: Esquema simplificado de un sistema de caudal variable de refrigerante

El régimen del compresor Inverter se adapta a la variabilidad de la carga térmica del edificio.

Si el compresor reduce la potencia, lo que se consigue es que entre menor cantidad de caudal al evaporador o condensador, se disminuirá por tanto la cantidad de calor cedido o absorbido a la sala y se controlará la temperatura.

Un aspecto importantísimo que se consigue con esta tecnología es la independencia climática en cada sala. Cada unidad interior trabajará de forma independiente de las demás y una válvula de expansión electrónica dejará pasar el fluido refrigerante que necesite cada unidad interior.

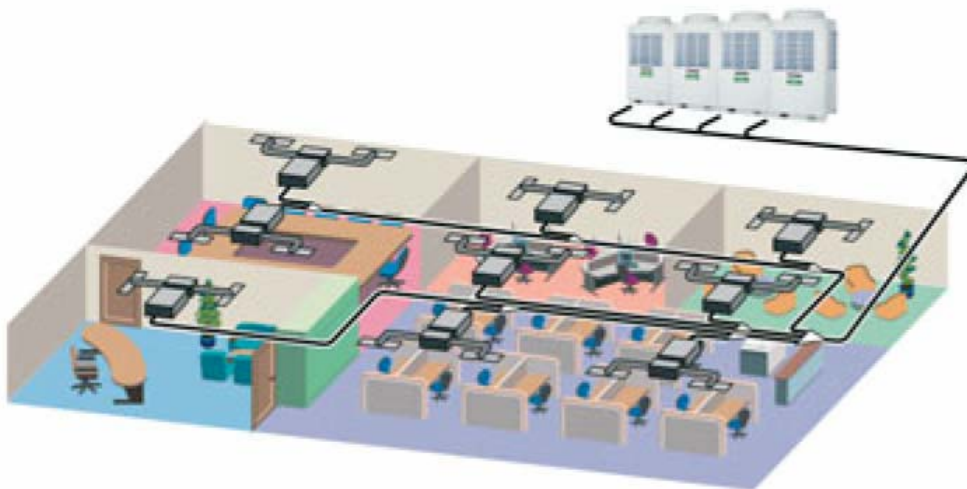


Figura 3.22: Ejemplo de una instalación con equipo de caudal variable de refrigerante



Figura 3.23: Unidades exteriores de equipos de caudal variable de refrigerante

3.6.4. Diferencias del sistema Multi-Split Inverter frente al sistema de Caudal Variable de Refrigerante

Los sistemas de Caudal Variable de Refrigerante y los Multi-Split Inverter son muy parecidos, ya que en los dos tipos de sistemas se consigue un importante ahorro energético gracias a la tecnología Inverter, la diferencia entre ellos estriba en la forma de conexión de las tuberías y en el lugar donde se lleva a cabo la expansión.

En los sistemas Multi-Split, de cada unidad exterior salen dos tuberías para cada unidad interior, de manera que las unidades interiores quedan conectadas en paralelo como se muestra en la siguiente figura. En los sistemas de caudal de refrigerante variable, de cada unidad exterior salen únicamente dos tuberías, que hacen que se conecten todas las unidades interiores en serie.

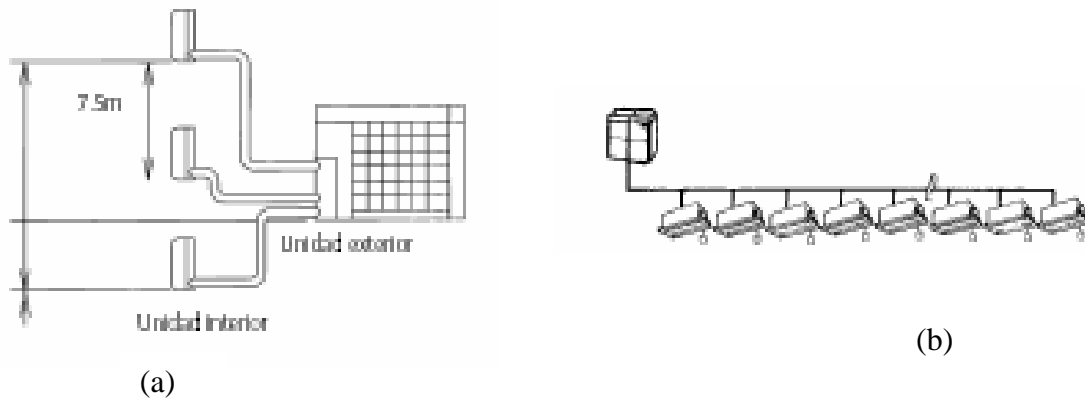
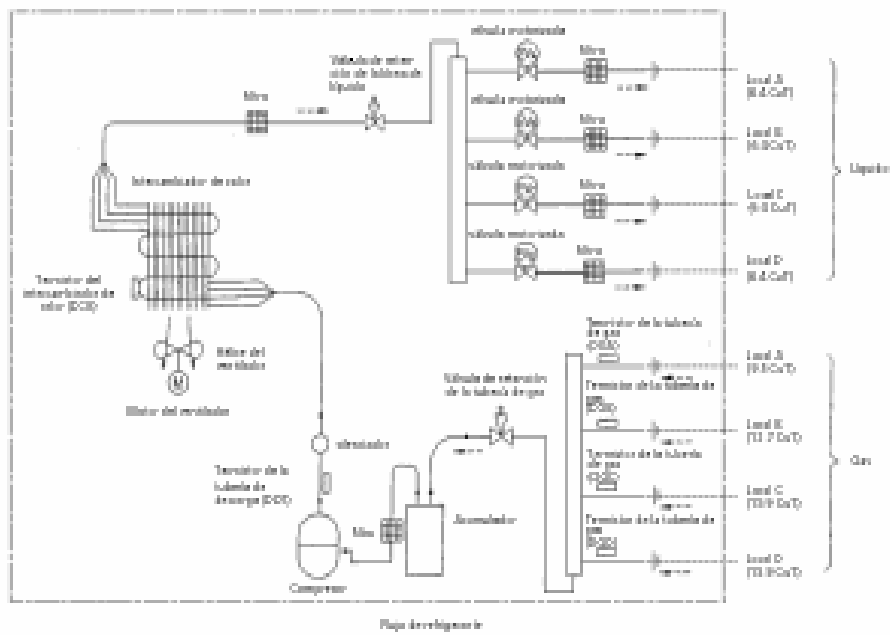


Figura 3.24: (a) Sistema Multi-Split Inverter; (b) Sistema CVR

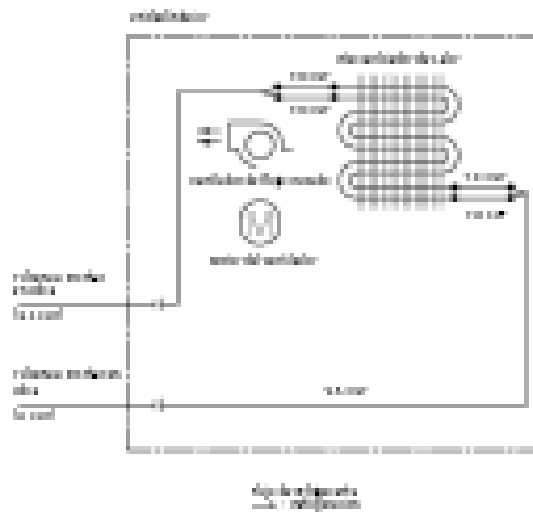
Esta disposición de los conductos implica un ahorro importantísimo a la hora del diseño de tuberías y una clara mejora en cuanto a sencillez de la instalación.

En cuanto a la expansión, en el sistema Multi-Split Inverter la expansión se produce en la unidad exterior, mientras que la expansión en los sistemas de caudal de refrigerante variable se realiza en las unidades interiores.

En los siguientes esquemas se representan los diagramas de tuberías de unidades interiores y exteriores de sistemas Multi –Split Inverter y sistema de caudal variable de refrigerante.

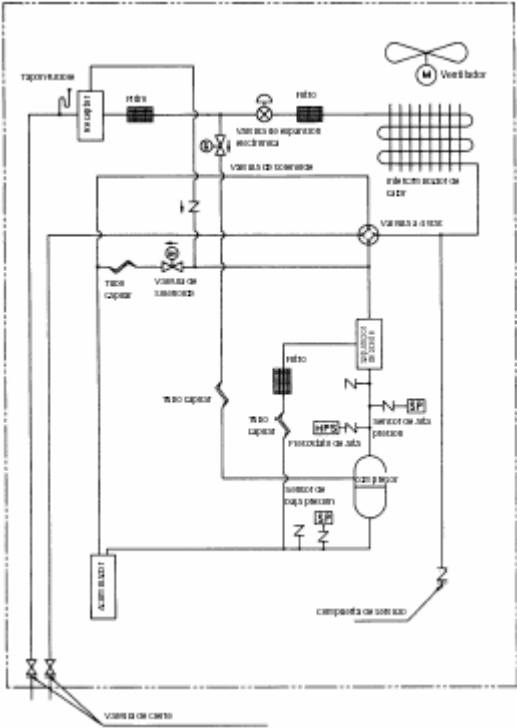


(a)

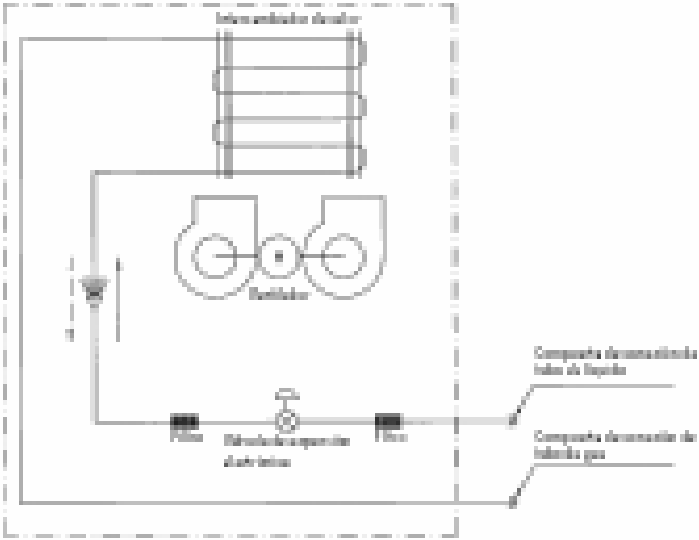


(b)

Figura 3.25: (a) unidad exterior de un sistema Multi-Split Inverter Sólo frío
(b) unidad interior de un sistema Multi-Split Inverter Sólo frío



(a)



(b)

Figura 3.26: (a) unidad exterior de un sistema CRV
(b) unidad interior de un sistema CRV

3.6.5. El sistema de Caudal de Refrigerante Variable con recuperación de calor

La recuperación de calor consiste en intentar aprovechar las pérdidas energéticas que se producen en un sistema común de acondicionamiento de aire.

El calor de condensación que se desperdicia al enfriar un local en un sistema aire-aire y se tira al ambiente, en este tipo de sistemas se aprovecha y se conduce a otros locales donde es útil.

En el caso de sistemas de recuperación de calor se utilizan normalmente 3 tubos desde la unidad exterior hasta las cajas repartidoras o selectoras de flujo y posteriormente 2 tubos desde éstas hasta las unidades interiores.

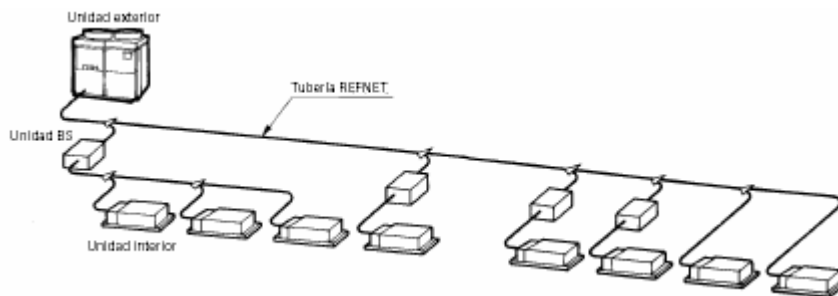


Figura 3.27: Ejemplo de sistema de caudal de refrigerante variable con recuperador de calor

Por tanto, a las unidades interiores lo que llega es un tubo de aspiración o descarga de gas y un tubo de líquido. En función de la temperatura ambiente se selecciona el tubo de aspiración de gas o el de descarga de gas.

Para conseguir este efecto de recuperación de calor, el refrigerante cuando sale del evaporador se conduce a las unidades que requieren calefacción, produciéndose allí la condensación de gas y por tanto se consigue un flujo de calor de calefacción en el aire.

El sistema electrónico que se necesita para realizar estas manipulaciones de refrigerante es muy complejo.

Si se elige un sistema de caudal de refrigerante variable con recuperador de calor hay que estudiar la rentabilidad muy detalladamente porque estos sistemas tienen el defecto de que poseen un coste inicial muy alto, el aspecto positivo es que la reducción que se obtiene de capacidad de la instalación llega de un 10-20%.

Si se decidiera usar la recuperación de calor hay que estudiar las unidades interiores que estarán unidas a la misma unidad exterior, ya que entre estas unidades interiores es donde se realizará el intercambio de calor. Es decir, a la misma máquina exterior se unirán máquinas interiores con orientaciones opuestas (unas salas estén encaradas hacia el exterior, con presencia de ventanas, y otras con una orientación interior) y de usos distintos (unas salas que tengan un uso más bien esporádico y otras tengan mayor concurrencia de gente).

Con estas características se podrá prever si es viable la recuperación de calor y se podrá precisar calefacción en unas salas y refrigeración en otras de forma simultánea.

Una característica de las unidades terminales es su bajo nivel sonoro y una filtración del aire más elevada.

Las unidades exteriores pueden ser sistemas modulares o sistemas en los que la condensadora es un bloque único. En los sistemas modulares hay una combinación de distintos módulos o unidades exteriores las cuales consiguen la potencia necesaria para la instalación. Los distintos módulos se conectan entre sí mediante el circuito frigorífico y la tubería de equilibrado de aceite.

Las unidades condensadoras se pueden instalar también en zonas internas de los edificios gracias a la presión estática disponible de los ventiladores. Además como característica importante de estos sistemas es que las unidades exteriores se pueden instalar casi pegadas, dejando una mínima distancia de 2cm.

3.6.6. Ventajas e inconvenientes de los equipos de Caudal de Refrigerante Variable

Como ventajas se destacan:

- Notable ahorro energético, se consigue ajustar la capacidad a la demanda. En los sistemas de Caudal de Refrigerante Variable con recuperación de calor se añade que pueden trasladar calor de una sala a otra, por lo que el ahorro es aún mayor.
- Control eficaz de la temperatura, las variaciones con respecto a la temperatura de consigna son menores y más suaves. A parte se eligen las condiciones ambientales de manera individual en cada sala.
- Instalación muy sencilla.
- Máxima zonificación. Cada usuario o espacio dispone de su control.

- Mantenimiento mínimo
- Alta fiabilidad
- Bajos niveles sonoros
- Reducido espacio de instalación de las unidades exteriores (unidades exteriores compactas).
- Elevada flexibilidad, en cuanto a trazados de los circuitos, longitudes del sistema, número de unidades interiores por sistema, adaptación a cambios.
- Menores espacios de paso de tuberías.
- Múltiples tipos de unidades interiores. Los tipos que nos podemos encontrar son Cassette: 1, 2 y 4 vías, conductos: baja silueta, estándar y alta presión, techo, pared y suelo.
- Funcionamiento en modo calor a bajas temperaturas, hasta a -20 °C.
- Posibilidad de contabilizar el consumo energético de cada usuario.

Los inconvenientes, son:

- Su elevado coste inicial.
- Distribución de refrigerante por medio de una red de tuberías de cobre susceptible de fugas.
- En sí mismos no permiten el control de la humedad ni la opción de free-cooling.
- Distancia vertical y horizontal entre unidades limitada.

4. ENFRIADORAS DE AGUA

El estudio de las enfriadoras que se realiza a continuación se centra en los datos de los catálogos técnicos de tres marcas comerciales: Carrier, Daikin e Hitachi.

En el Anexo, se adjuntan unas tablas donde se recogen las características técnicas más significativas que proporcionan los catálogos de las enfriadoras de agua que ofrecen estas marcas. Estas características son:

- Enfriadora de agua solo frío, condensada por aire:
 - Nombre comercial
 - Fabricante
 - Refrigerante
 - Capacidad frigorífica del catálogo
 - Tipo de compresor
 - Número de compresores
 - Caudal de aire
 - Caudal de agua
 - Consumo de la unidad
 - Consumo del compresor
 - EER

De este tipo de equipos se han estudiado 146 modelos, de los cuales 70 son de Carrier y 34 de Hitachi, y 42 son de Daikin. Lo que supone que un 23% de los modelos son de Hitachi, un 29% son de Daikin y el restante porcentaje son de Carrier.

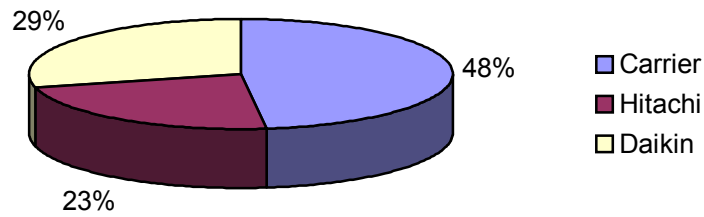


figura 4.1: Porcentaje de las enfriadoras de agua solo frío condensada por aire.

Todos los equipos Hitachi tienen compresores de tornillo y usan R-407c, las potencias frigoríficas de estos equipos oscilan entre 106 y 1068 kW.

Los equipos Carrier usan tres tipos de refrigerante, R-134a, R-410a y R-407c. Los equipos de R-134a usan compresores de tornillo, los equipos de R-407c usan compresores scroll y compresores alternativos, y los equipos de R-410a usan compresores scroll.

Por último, las enfriadoras Daikin, usan refrigerante R-134a y R-407c. Los equipos de R-134a usan compresores de tornillo y los equipos de R-407c usan compresores scroll.

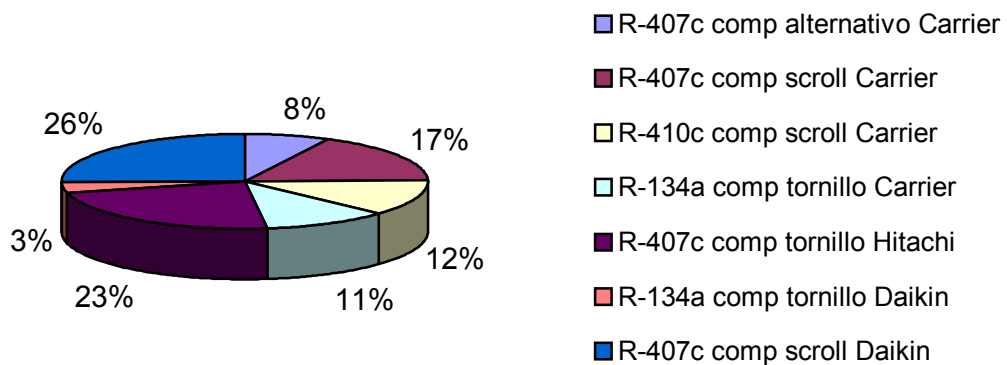


figura 4.2: porcentajes de las enfriadoras de agua condensada por aire solo frío, según compresor y refrigerante

Las potencias frigoríficas que comprenden cada uno de estos tipos de equipos se dan en la siguiente tabla y se representan en el gráfico.

Refrigerante, tipo de compresor y marca	Potencia frigorífica mínima (kW)	Potencia frigorífica máxima (kW)
R-134a y comp tornillo de Carrier	282	1203
R-407c y comp scroll Carrier	17.7	245
R-407c y comp alternativo Carrier	238	725
R-410a y comp scroll Carrier	5.15	753
R-407c y comp scroll Daikin	10.1	541
R-134a y comp tornillo de Daikin	111	316
R-407c y comp de tornillo Hitachi	126	776

Tabla 4.1 : Potencias frigoríficas de cada tipo de enfriadoras de agua

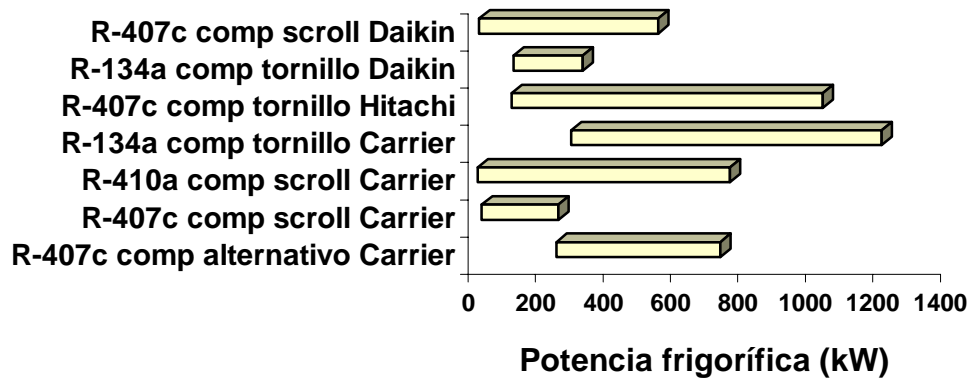


figura 4.3: Gráfico de las potencias frigoríficas de cada tipo de enfriadoras de agua solo frío condensadas por aire

- Enfriadora de agua solo frío, condensada por agua:
 - Nombre comercial
 - Fabricante
 - Refrigerante
 - Capacidad frigorífica del catálogo
 - Tipo de compresor
 - Número de compresores

- Consumo de la unidad
- Consumo del compresor

De este tipo de equipos se han estudiado 77 modelos, de los cuales 67 son de Carrier y 10 de Hitachi, ya que Daikin no presenta ningún modelos de este estilo, lo que supone que un 13% de los modelos son de Hitachi y el restante porcentaje son de Carrier.

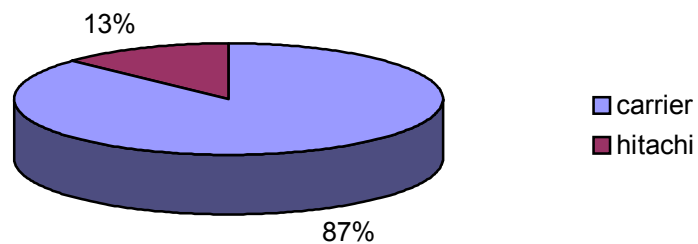


figura 4.4: Porcentaje de las enfriadoras en el mercado solo frío condensada por agua

Todos los equipos Hitachi tienen compresores de tornillo y usan R-407c, las potencias frigoríficas de estos equipos oscilan entre 126 y 776 kW.

Los equipos Carrier usan dos tipos de refrigerante, R-134a y R-407c. Los equipos de R-134a usan compresores de tornillo y los equipos de R-407c usan compresores scroll y compresores alternativos.

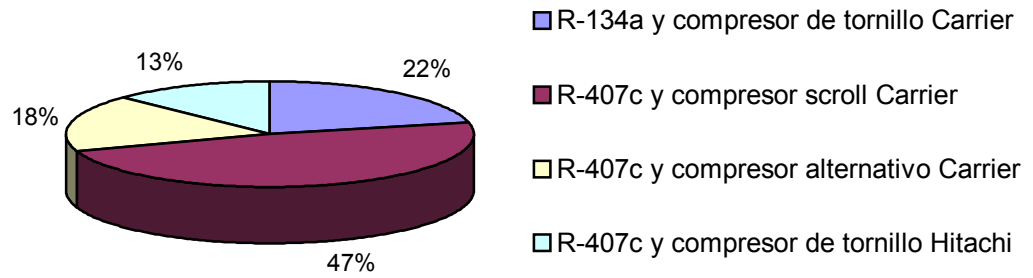


figura 4.5: porcentajes de las enfriadoras de agua condensada por agua solo frío, según compresor y refrigerante

Las potencias frigoríficas que comprenden cada uno de estos tipos de equipos se dan en la siguiente tabla y se representan en el gráfico.

Refrigerante, tipo de compresor y marca	Potencia frigorífica mínima (kW)	Potencia frigorífica máxima (kW)
R-134a y compresor tornillo de Carrier	290	1286
R-407c y comp scroll Carrier	19	310
R-407c y comp alternativo Carrier	371	735
R-407c y comp de tornillo Hitachi	126	776

Tabla 4.2: potencias frigoríficas de cada tipo de enfriadoras de agua solo frío condensadas por agua.

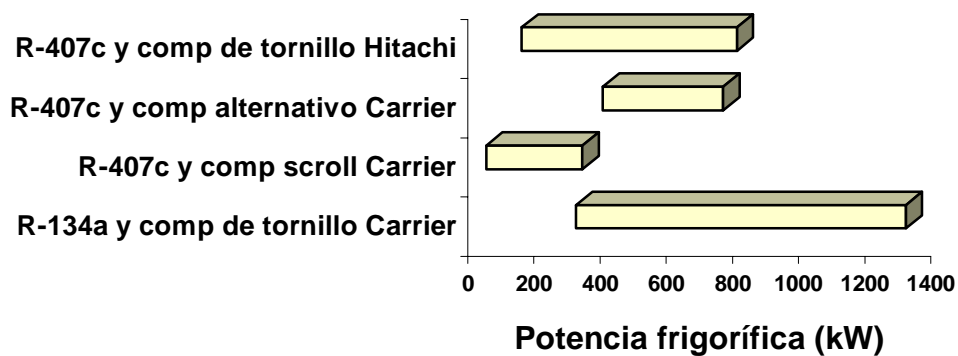


figura 4.6: Gráfico de las potencias frigoríficas de cada tipo de enfriadoras de agua solo frío condensadas por agua.

- Enfriadora de agua reversible, condensada por aire:
 - Nombre comercial
 - Fabricante
 - Refrigerante
 - Capacidad frigorífica del catálogo
 - Capacidad calorífica del catálogo
 - Tipo de compresor
 - Número de compresores
 - Caudal de aire
 - Caudal de agua en refrigeración y calefacción
 - Consumo de la unidad en refrigeración
 - Consumo de la unidad en calefacción
 - Consumo del compresor en refrigeración y en calefacción
 - EER

De este tipo de equipos se han estudiado 60 modelos, de los cuales 31 son de Carrier y 5 de Hitachi, y 24 son de Daikin. Lo que supone que un 8% de los modelos son de Hitachi, un 40% son de Daikin y el restante porcentaje son de Carrier.

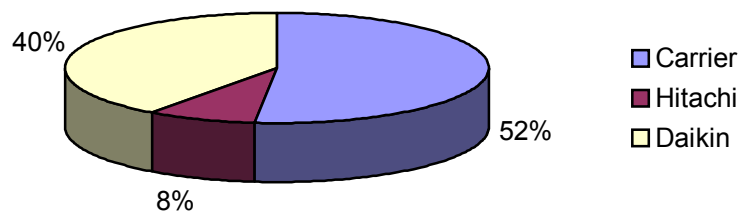


figura 4.7: Porcentaje de las enfriadoras en el mercado reversibles condensada por aire

Todos los equipos Hitachi tienen compresores de tornillo y usan R-407c, las potencias frigoríficas de estos equipos oscilan entre 103 y 312 kW y las capacidades caloríficas van de 110 a 324 kW.

Los equipos Carrier usan dos tipos de refrigerante R-410a y R-407c. Tanto los equipos de R-407c como los de R-410a usan compresores scroll.

Por último las enfriadoras Daikin usan refrigerante R-407c con compresores scroll y R-134a con compresores de tornillo.

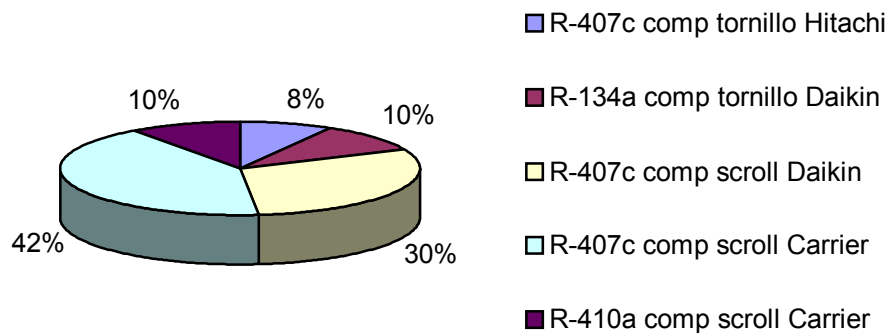


figura 4.8: porcentajes de las enfriadoras de agua condensada por aire reversibles, según compresor y refrigerante.

Las potencias frigoríficas que comprenden cada uno de estos tipos de equipos se dan en la siguiente tabla y se representan en el gráfico.

Refrigerante, tipo de compresor y marca	Potencia frigorífica mínima (kW)	Potencia frigorífica máxima (kW)	Capacidad calorífica mínima (kW)	Capacidad calorífica máxima (kW)
R-407c y comp scroll Carrier	16.7	210	18.8	229
R-410 a y comp scroll Carrier	5	13.8	5.7	13.8
R-134 a y comp de tornillo Daikin	106	315	118	355
R-407c y comp scroll Daikin	9.1	250.1	11.9	251.6
R-407c y comp de tornillo Hitachi	103	312	110	324

Tabla 4.3: Potencias frigoríficas y caloríficas de cada tipo de enfriadoras de agua reversibles condensadas por aire.

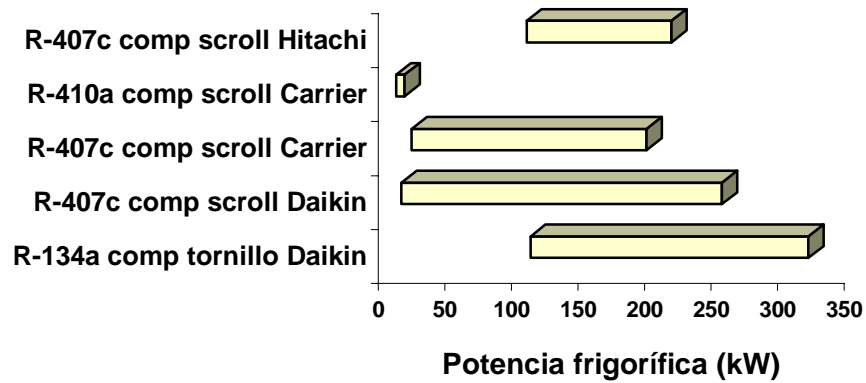


figura 4.9: Gráfico de las potencias frigoríficas de cada tipo de enfriadoras de agua reversibles condensadas por aire.

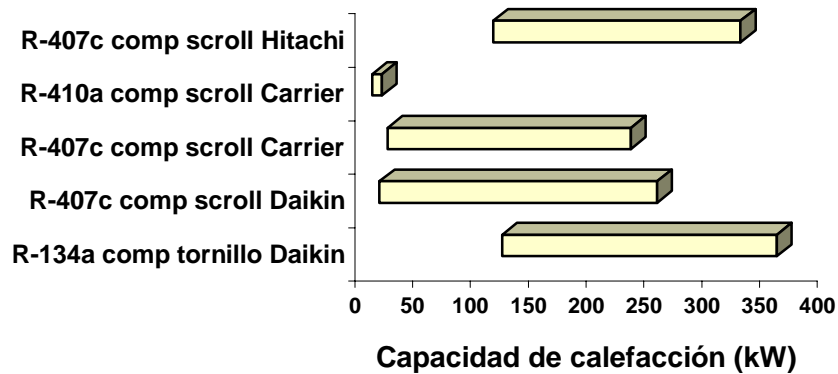


figura 4.10: Gráfico de las potencias caloríficas de cada tipo de enfriadoras de agua reversibles condensadas por aire.

- Enfriadora de agua reversible, condensada por agua:
 - Nombre comercial
 - Fabricante
 - Refrigerante
 - Capacidad frigorífica del catálogo

- Capacidad calorífica del catálogo
- Tipo de compresor
- Número de compresores
- Caudal de agua en refrigeración y calefacción
- Consumo de la unidad en refrigeración
- Consumo de la unidad en calefacción
- EER
- COP

De este tipo de equipos se han estudiado 27 modelos y todos los modelos son Daikin. Las enfriadoras Daikin usan refrigerante R-407c con compresores scroll y R-134a con compresores de tornillo.

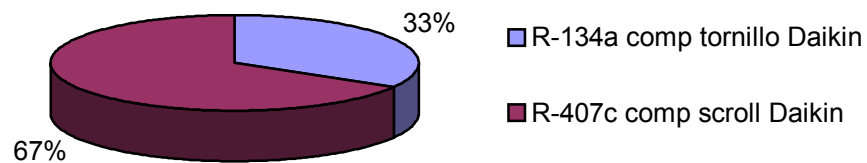


figura 4.11: porcentajes de las enfriadoras de agua condensada por agua reversibles, según compresor y refrigerante

Las potencias frigoríficas que comprenden cada uno de estos tipos de equipos se dan en la siguiente tabla y se representan en el gráfico.

Refrigerante, tipo de compresor y marca	Potencia frigorífica mínima (kW)	Potencia frigorífica máxima (kW)	Capacidad calorífica mínima (kW)	Capacidad calorífica máxima (kW)
R-407c y comp scroll Daikin	13	195	16.6	248
R-134a y comp de tornillo Daikin	123	546	148	659

Tabla 4.4: Tabla de las potencias frigoríficas y caloríficas de cada tipo de enfriadoras de agua reversibles condensadas por agua.

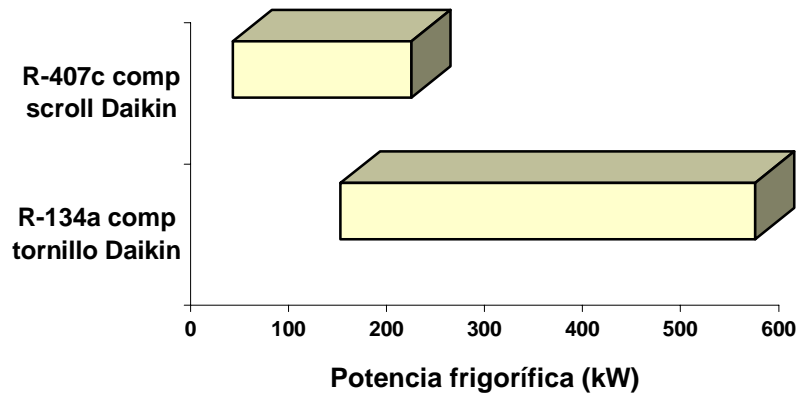


figura 4.12: Gráfico de las potencias frigoríficas de cada tipo de enfriadoras de agua reversibles condensadas por agua.

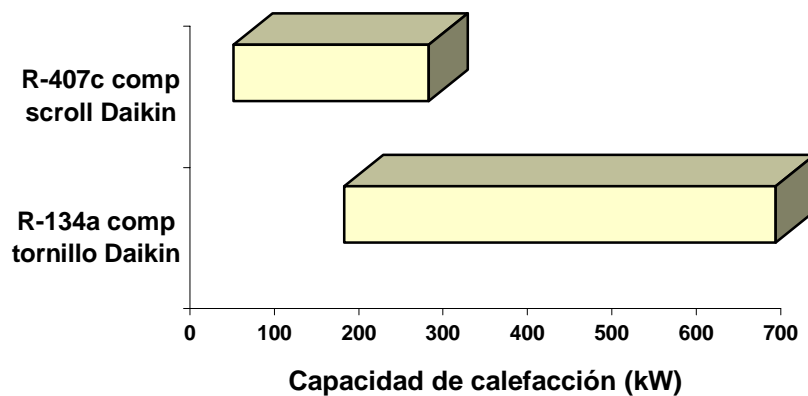


figura 4.13: Gráfico de las potencias caloríficas de cada tipo de enfriadoras de agua reversibles condensadas por agua.

4.1. Casos estudiados

Dentro de las enfriadoras de agua, el estudio que se realiza se centra en las enfriadoras de agua reversibles condensadas por aire. Estas enfriadoras pueden producir agua fría o caliente según las necesidades que se tengan gracias a una válvula de cuatro vías que consigue invertir el ciclo en caso de ser necesaria calefacción.

La unidad exterior, al estar condensada por aire, se instala a la interperie aprovechándose el aire ambiente que no supone ningún coste adicional. Normalmente,

estos equipos tienen que mover gran cantidad de aire en la unidad exterior por lo que sus dimensiones son grandes y a veces esto supone un problema para la instalación.

De este tipo de enfriadoras se estudian en concreto tres modelos, que son para cada una de las marcas, las enfriadoras que tienen una potencia frigorífica más próxima a 100 kW. Los modelos son los que se citan a continuación:

- 30RH120B para Carrier con una potencia frigorífica de 108 kW.
- EUWY040BZ6Y para Daikin con una potencia frigorífica de 93.8 kW.
- RHUE40AG para Hitachi con una potencia frigorífica de 106 kW.

4.2. Datos de los catálogos

4.2.1. Catálogo de la enfriadora de agua modelo 30RH120B de Carrier

Esta enfriadora pertenece a la gama 30RH, la cual tiene doce modelos, que van del 30RH040B (con una capacidad frigorífica nominal de 38.3 kW), hasta el modelo 30RH240B (con una capacidad frigorífica nominal de 210 kW).



figura 4.14: Enfriadora de agua reversible condensada por aire 30RH120B

Por orden, se citan a continuación las distintas partes que nos encontramos en el catálogo técnico de Carrier:

- Características generales de la enfriadora (tipo de refrigerante, compresor, evaporador, condensador, etc)
- Sistema de control que usa.

- Posibles accesorios que tiene el equipo.
- Potencia de sonido, en dB(A) para cada modelo según Eurovent.
- Esquema del módulo hidrónico. El módulo hidrónico es una opción de este tipo de enfriadoras que consiste en traer una o varias bombas dentro de la enfriadora.
- Datos físicos. Dentro de este apartado da los siguientes datos:
 - Capacidad frigorífica nominal para cada modelo, donde las condiciones nominales se refieren a temperaturas de entrada del agua en el intercambiador de calor de placas (evaporador) son 12°C, la temperatura de salida 7°C y la temperatura del aire exterior de 35°C.
 - Capacidad calorífica nominal para cada modelo, donde las condiciones nominales son la temperatura de entrada y salida del agua en el condensador son 40 y 45°C respectivamente y la temperatura seca del aire exterior es de 7°C.

MODELO	Capacidad frigorífica nominal (kW)	Capacidad calorífica nominal (kW)
040	38.3	39.2
050	44.5	47.3
060	54	58
070	66	67
080	71	80
090	83	87
100	92	98
120	108	117
140	132	133
160	142	160
200	179	194
240	210	229

Tabla 4.5: Capacidades frigoríficas y caloríficas de la enfriadora de agua 30RH de Carrier.

- Peso en funcionamiento con el módulo hidrónico incorporado.
- Carga de refrigerante R-407C (kg), para cada circuito, ya que a partir de el modelo 090 aparecen dos circuitos de refrigerante, para asegurar que la enfriadora pueda trabajara a carga parcial.
- Compresores; el compresor que usa es un compresor hermético scroll. En este apartado se da la cantidad de compresores para cada uno de los circuitos de refrigerante, el número de etapas de carga y el % de carga mínima que tiene cada modelo.
- Tipo de control del sistema.
- Tipo de intercambiador de calor de aire (tubos de cobre ranurados con aletas de aluminio), tipos de ventiladores y cantidad, caudal total de aire a alta velocidad y las velocidades alta y baja.
- Tipo de intercambiador de calor de agua (intercambiador de placas soldado),volumen de agua y la presión máxima de funcionamiento en el lado del agua.
- Datos sobre el módulo hidrónico: n° de bombas, volumen del depósito de dilatación y presión del depósito de dilatación .
- Diámetros de las conexiones de agua.
- Datos eléctricos sin módulo hidrónico.
 - Características nominales de tensión y frecuencia, y rango de tensión.
 - Consumo máximo de la unidad (compresores y ventiladores en las condiciones máximas de funcionamiento de la unidad: temperatura de entrada del agua a 15°C, temperatura de salida del agua a 10°C y temperatura máxima de condensación 67.8°C).
 - Corriente nominal de la unidad, que es la corriente que hay en condiciones de temperatura nominal y cuando la tensión es nominal (400V).
 - Corriente máxima de la unidad a 360V y a 400V. Es la corriente máxima de la unidad en funcionamiento cuando la potencia absorbida es máxima y la tensión es 360V o 400V, en su caso.
 - Corriente máxima de arranque, con o sin arrancador electrónico opcional de los compresores. Esta corriente está compuesta por la corriente máxima del

compresor o compresores más pequeños, más la corriente del ventilador, más la corriente con rotor bloqueador del compresor de mayor potencia.

- Corriente de mantenimiento del circuito trifásico.
- Datos eléctricos de la unidad con módulo hidrónico. Tanto para el módulo hidrónico con bomba única como con bomba doble, se proporciona valor de la potencia efectiva, del consumo y de la corriente máxima a 400V.
- Límites de funcionamiento:
 - Caudal mínimo del agua del evaporador.
 - Caudal máximo de agua en el evaporador para unidades con módulo hidrónico con bomba única o bomba doble y una presión disponible de 50 kPa.
 - Caudal máximo de agua en el evaporador para unidades sin módulo hidrónico con una pérdida de carga de 100 kPa.
 - Para refrigeración y calefacción, se da la temperatura mínima y máxima de entrada del agua al arrancar, la temperatura máxima de entrada del agua al parar, temperatura mínima y máxima de salida de agua en funcionamiento (5 y 15°C respectivamente para refrigeración y 20 y 25°C respectivamente para calefacción) y temperatura mínima y máxima de entrada de aire (-10 y 46°C respectivamente para refrigeración y -10 y 40°C respectivamente para calefacción).
 - Gráficos del intervalo de funcionamiento para refrigeración y calefacción, donde se representa la temperatura de entrada del aire frente a la temperatura del agua de salida del evaporador. En refrigeración si la temperatura de salida del agua es menor de 5°C hay que usar anticongelante.
- Presión estática del sistema disponible. Se dan dos gráficos, uno para sistema con bomba única y otro con bomba doble, donde se representa la presión estática disponible (kPa) frente el caudal de agua (l/s).
- Volumen del circuito de agua, en litros. Se da volumen mínimo del circuito de agua y el volumen máximo del circuito de agua.
- Planta, alzado y perfil de la enfriadora, acotadas.
- Tablas de capacidades, para funcionamiento en refrigeración y funcionamiento en calefacción.

Las tablas de capacidad de refrigeración, dan para cada modelo y en función de la temperatura del agua a la salida y de la temperatura del aire a la entrada del condensador, los siguientes parámetros:

- CAP: capacidad frigorífica.
- COMP: potencia absorbida por los compresores.
- UNIT: potencia absorbida por la unidad (compresores, ventiladores y circuito de control).
- COOL: Caudal de agua en el evaporador (l/s).
- COOL: Pérdida de presión en el evaporador (kPa).
- Presión disponible en la salida de la unidad, con un módulo hidráulico de una sola bomba, PRES(1), o con una bomba doble ,PRES(2), en kPa.

		30RH Temperatura del aire a la entrada del condensador, °C													
		25							30						
LW	°C	CAP	COMP	UNIT	COOL	COOL	PRES	PRES	CAP	COMP	UNIT	COOL	COOL		
		kW	kW	kW	l/s	kPa	kPa	kPa	kW	kW	kW	l/s	kPa		
5	040	40,1	10,5	11,7	1,91	30	140	188	37,9	11,6	12,8	1,81	27		
	050	46,8	13,2	14,4	2,23	26	140	191	44,2	14,7	15,9	2,11	23		
	060	57	16	17,2	2,7	24	134	190	54	17,7	18,9	2,56	21		
	070	69	18,5	21	3,28	29	117	180	66	20,3	22,8	3,12	26		
	080	75	23	25,5	3,58	27	154	179	71	25,4	27,9	3,39	24		
	090	87	23,7	26,1	4,15	36	130	164	82	26,2	28,6	3,92	32		
	100	97	26,5	28,9	4,62	33	116	158	91	29,2	31,6	4,37	30		
	120	113	32	34,4	5,41	30	171	172	107	35,4	37,8	5,12	27		
	140	137	36,9	41,9	6,57	33	143	162	130	40,6	45,6	6,23	30		
	160	150	45,9	51	7,16	31	129	159	142	51	56	6,77	28		
6	200	187	54	61	8,95	17	256	256	177	59	67	8,47	16		
	240	221	66	75	10,6	24	240	240	209	72	82	9,99	21		
	040	41,5	10,6	11,8	1,98	32	137	186	39,2	11,7	12,9	1,87	29		
	050	48,2	13,4	14,6	2,3	27	138	189	45,6	14,9	16,1	2,18	24		
	060	58	16,2	17,4	2,79	25	131	188	55	17,9	19,1	2,64	23		
	070	71	18,7	21,2	3,39	31	113	177	67	20,5	23	3,22	28		
6	080	77	23,3	25,8	3,7	29	150	176	73	25,7	28,2	3,49	25		
	090	90	24	26,4	4,29	37	123	160	85	26,6	29	4,05	34		
	100	100	26,8	29,2	4,77	36	108	154	95	29,6	32	4,52	31		

figura 4.15: Tablas de capacidades frigoríficas.

Las tablas de capacidades caloríficas, dan para cada modelo y en función de la temperatura del agua a la salida y de la temperatura del aire a la entrada del evaporador, los siguientes parámetros:

- CAP: Capacidad calorífica instantánea, donde no se tiene en cuenta la disminución de la capacidad como consecuencia de la formación de la escarcha de la batería, ni el efecto de los ciclos de desescarche.
- COMP: potencia absorbida por los compresores.
- UNIT: potencia absorbida por la unidad (compresores, ventiladores y circuito de control).
- COND: caudal de agua en el condensador (l/s).
- COND: pérdida de presión en el condensador (kPa).
- Presión disponible en la salida de la unidad, con un módulo hidrónico de una sola bomba, PRES(1), o con una bomba doble, PRES(2), en kPa.

Marca de la enfriadora

Temperatura de salida del agua

Distintos modelos

30RH		Temperatura del aire de entrada, °C									
LWT	°C	-10					-5				
		CAP	COMP	UNIT	COND	PRES (1)	PRES (2)	CAP	COMP	UNIT	
		kW	kW	kW	l/s	kPa	kPa	kW	kW	kW	
30	040	22,7	8,79	9,99	1,09	10	162	207	25,9	8,85	10,1
	050	27,7	11,3	12,5	1,32	9	162	208	31,6	11,4	12,6
	060	34	13,4	14,6	1,62	9	161	208	38,8	13,5	14,7
	070	38,8	14,7	17,2	1,85	9	159	207	44,3	14,9	17,4
	080	46,5	18	20,5	2,22	10	199	205	53	18,1	20,6
	090	50	20,1	22,5	2,41	13	193	202	58	20,2	22,6
	100	57	22,2	24,6	2,71	12	188	200	65	22,4	24,8
	120	68	26,8	29,2	3,25	12	217	196	78	27	29,4
	140	78	29,5	34,5	3,71	11	213	195	89	29,7	34,7
	160	93	36	41	4,44	13	203	192	106	36,2	41,2
35	200	115	46,5	54	5,48	7	282	282	138	47,6	55
	240	138	60	70	6,59	10	275	275	157	60	70
	040	22,4	9,67	10,9	1,07	9	162	208	25,6	9,74	10,9
	050	27,3	12,4	13,6	1,3	9	162	208	31,2	12,5	13,7
	060	33,5	14,7	15,9	1,6	8	162	209	38,3	14,8	16
	070	38,2	16,3	18,8	1,83	9	159	208	43,7	16,4	18,9
	080	45,8	19,8	22,3	2,19	10	200	205	52	19,9	22,4
	090	50	21,9	24,5	2,41	13	193	202	58	22,1	24,8
	100	57	24,2	26,8	2,71	12	188	200	65	24,4	27,1
	120	68	29,5	32,9	3,25	12	217	196	78	29,7	34,7

figura 4.16: Tablas de capacidades caloríficas

En calefacción existe la opción de calcular la capacidad calorífica integrada, la cual tiene en cuenta los efectos de la formación de escarcha y los ciclos de desescarche. Esta capacidad calorífica integrada se halla a través de un factor de corrección aplicado a la capacidad calorífica instantánea.

Estos datos, tanto en refrigeración como en calefacción siempre se dan teniendo en cuenta que el incremento de temperatura del intercambiador del lado del agua es de 5°C y que el factor de ensuciamiento es $0.44 \times 10^{-4} \text{ (m}^2\text{K)/W}$.

4.2.2. Catálogo de la enfriadora de agua modelo EUWY040BZ6Y de Daikin

Esta enfriadora pertenece a la gama EUWY*BZ6Y, la cual tiene once modelos, que van del EUWY030BZ6Y (con una capacidad frigorífica nominal de 60.5 kW), hasta el EUWY095BZ6Y (con una capacidad frigorífica nominal de 250.1 kW).



figura 4.17: Enfriadora de agua reversible condensada por aire EUWY040BZ6Y

Por orden, se citan a continuación las distintas partes que nos encontramos en el catálogo técnico de Daikin:

- Características generales de la enfriadora(estructura de la unidad, tipo de refrigerante, compresor, evaporador, condensador, número de circuitos, etc)
- Sistema de control que usa.
- Tabla de especificaciones. Dentro de este apartado da los siguientes datos:
 - Capacidad frigorífica nominal para cada modelo, donde las condiciones nominales se refieren a temperaturas de entrada del agua en el intercambiador de calor de placas (evaporador) son 12°C, la temperatura de salida 7°C y la temperatura del aire exterior de 35°C.
 - Capacidad calorífica nominal para cada modelo.

MODELO	Capacidad frigorífica nominal (kW)	Capacidad calorífica nominal (kW)
030	60,5	57,8
035	73,2	70,5
040	93,8	96,3
045	115,5	115,5
049	123,9	123,7
050	125,2	115,6
060	152,1	141,1
070	166,5	166,8
080	194	192,7
090	219,4	213,5
095	250,1	251,6

Tabla 4.6: Capacidades frigoríficas y caloríficas de la enfriadora de agua EUWY*BZ6Y de Daikin.

- Consumo nominal , tanto para refrigeración como para calefacción.
- Valores para cada modelo del EER y COP.
- Dimensiones de la unidad.
- Peso en funcionamiento, con o sin módulo hidrónico.
- Volumen y altura del depósito de inercia.
- Material del que está hecha la carcasa.
- Potencia sonora en dBA.
- Datos sobre el ventilador: tipo, cantidad, potencia, caudal de aire, velocidad y tipo de descarga.
- Tipo de intercambiador de calor de agua (intercambiador de placas soldado), cantidad, volumen mínimo de agua, caudal de agua, caída de presión nominal de agua , altura manométrica nominal en refrigeración y calefacción, y material de aislamiento.

- Tipo de intercambiador de calor de aire (aletas de aluminio revestidas adheridas a tubos de cobre sin soldaduras), cantidad de filas x las aletas que hay por pie y la superficie.
- Carga de refrigerante R-407C (kg), número de circuitos y modo de control de refrigerante(a través de una válvula de expansión termostática).
- Compresores; el compresor que usa es un compresor hermético scroll. En este apartado se da la cantidad de compresores, las rpm, el aceite refrigerante y los W que consume la resistencia del cárter.
- Tipos de conexiones de tubería.
- Datos eléctricos con módulo hidráulico.
 - Características nominales de tensión, % de tolerancia de voltaje y frecuencia.
 - Corriente nominal de la unidad, que es la corriente que hay en condiciones de temperatura nominal y cuando la tensión es nominal (400V).
 - Corriente de arranque.
 - Corriente nominal del compresor, intensidad de éste con el rotor bloqueado y factor de potencia.
 - Corriente nominal del ventilador.
- Tablas de capacidades, para funcionamiento en refrigeración y funcionamiento en calefacción.

Las tablas de capacidad de refrigeración, dan para cada modelo y en función de la temperatura del agua a la salida y de la temperatura del aire a la entrada del condensador, los siguientes parámetros:

- CAP: capacidad frigorífica total (no se especifica en el catálogo a lo que se refiere capacidad frigorífica total, este valor es menor que el valor nominal, así que se supone que se le han restado las pérdidas de carga que hay en el evaporador).
- P.I: potencia absorbida por los compresores.
- UNIT: potencia absorbida por la unidad (compresores, ventiladores y circuito de control).
- HP: Manómetro de alta presión, en bar.
- LP: Manómetro de baja presión, en bar.

- Como nota, se da una fórmula para el cálculo de el caudal de agua, en función de la potencia frigorífica y del incremento de temperatura a la entrada y salida del evaporador(este incremento es de 5°C).

Modelo de la enfriadora → Capacidad de refrigeración EUWY*030 Versión estándar

Temperatura del aire →

Temperatura de salida del agua del evaporador →

TEMPERATURA AMBIENTE (°C)		25°C				30°C				
% Glicol de etileno	LWE(°C)	Cap kW	P.I. kW	HP bar	LP bar	Cap kW	P.I. kW	HP bar	LP bar	Cap kW
37	-12	33.6	15.4	13.9	1.9	31.9	17.2	15.9	1.9	30.0
33	-8	39.7	16.0	14.5	2.3	37.7	17.8	16.5	2.3	35.6
27	-4	46.5	16.6	15.2	2.8	44.2	18.6	17.2	2.8	41.6
20	0	53.8	17.4	15.9	3.3	51.1	19.4	18.1	3.3	48.2
10	4	61.6	18.2	16.8	3.9	58.5	20.3	19.0	3.9	55.3
0	5	63.8	18.4	17.1	4.1	60.6	20.5	19.2	4.1	57.2
0	6	65.8	18.6	17.3	4.2	62.5	20.8	19.5	4.2	59.0
0	7	67.7	18.9	17.5	4.4	64.3	21.0	19.7	4.4	60.8
0	8	69.7	19.1	17.7	4.5	66.2	21.2	20.0	4.5	62.5
0	9	71.6	19.3	18.0	4.7	68.1	21.5	20.2	4.7	64.3
0	10	73.6	19.5	18.2	4.8	70.0	21.7	20.4	4.8	66.1
0	11	75.6	19.8	18.4	5.0	71.9	22.0	20.7	5.0	67.8
0	12	77.6	20.0	18.7	5.1	73.7	22.2	20.9	5.1	69.6

figura 4.18: Tablas de capacidades frigoríficas

Para temperaturas del agua de salida muy bajas viene indicado a la izquierda el % de glicol necesario para que no se congele.

Las tablas de capacidades caloríficas, dan para cada modelo y en función de la temperatura del agua a la salida y de la temperatura del aire a la entrada del evaporador, los siguientes parámetros:

- CAP. Capacidad total.
- P.I: potencia absorbida por los compresores.

Temperatura de salida del agua →

Temperatura del aire a la entrada →

Temp. del aire BH a 90% de HR (°C)	25°C		30°C	
	Cap kW	P.I. kW	Cap kW	P.I. kW
-10	37.0	14.0	37.0	15.4
-7	40.0	14.0	40.1	15.5
-4	43.6	14.1	43.5	15.6
0	48.9	14.2	48.8	15.8
4	54.4	14.3	54.1	15.8
7	59.2	14.4	58.8	15.9
10	64.5	14.5	64.0	16.0
14	72.2	14.6	71.6	16.1
18	80.8	14.7	79.9	16.2

figura 4.19: Tablas de capacidades caloríficas

Estos datos, tanto en refrigeración como en calefacción siempre se dan teniendo en cuenta que el incremento de temperatura del intercambiador del lado del agua es de 5°C y que el factor de ensuciamiento es $0.44 \times 10^{-4} \text{ (m}^2\text{K)/W}$.

- Factores de ajuste del caudal del agua, caída de presión, potencia consumida y capacidad de refrigeración según el % de glicol que lleve.
- Caudal de agua mínimo para 0 y 30% de glicol, caudal de agua nominal y caída de presión al nivel nominal de flujo de agua.
- Caudal de agua en función de la caída de presión del agua.
- Para unidades con módulo hidrónico se da el caudal de agua y la presión disponible en el caso de que tuviese una bomba o bomba doble.
- Gráficos de curva de presión estática de la bomba, en el caso de bomba sencilla o bomba doble.
- Límites de funcionamiento:
 - Para refrigeración y calefacción, se da la temperatura mínima y máxima de salida de agua(-12 y 12°C respectivamente para refrigeración y 25 y 50°C respectivamente para calefacción) y temperatura mínima y máxima de entrada de aire (-10 y 42°C respectivamente para refrigeración y -10 y 20°C respectivamente para calefacción).
- Esquema de dimensiones.
- Diagrama de tuberías.
- Diagramas de cableado.
- Nivel de potencia sonora en función de la frecuencia.
- Instrucciones de instalación.
- Accesorios y opcionales.

4.2.3. Catálogo de enfriadora de agua modelo de RHUE40AG Hitachi

Esta enfriadora pertenece a la gama RHUE*AG, la cual tiene seis modelos, que van del RHUE40AG (con una capacidad frigorífica nominal de 106 kW), hasta el RHUE120AG (con una capacidad frigorífica nominal de 312 kW).

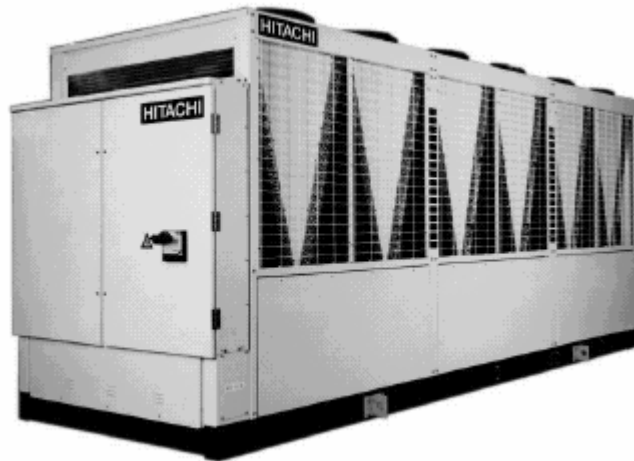


figura 4.20: Enfriadora de agua reversible condensada por aire RHUE40AG

Por orden, se citan a continuación las distintas partes que nos encontramos en el catálogo técnico de Hitachi:

- Características del compresor, sistema de control e intercambiadores de calor.
- Especificaciones generales. Dentro de este apartado da los siguientes datos:
 - Capacidad frigorífica nominal para cada modelo, donde las condiciones nominales se refieren a temperaturas de entrada del agua en el intercambiador de calor de placas (evaporador) son 12°C, la temperatura de salida 7°C y la temperatura del aire exterior de 35°C.
 - Capacidad calorífica nominal para cada modelo.

MODELO	Capacidad frigorífica nominal (kW)	Capacidad calorífica nominal (kW)
040	103	110
050	130	135
060	156	162
080	212	220
100	260	270
120	312	324

Tabla 4.7: Capacidades frigoríficas y caloríficas de la enfriadora de agua RHUE*AG de Hitachi.

- Consumo total, tanto para refrigeración como para calefacción.
- Dimensiones de la unidad y espacio que ocupa.
- Peso neto.
- Compresores; el compresor que usa es un compresor de tornillo semihermético. En este apartado se da la cantidad de compresores y los W que consume el calentador de aceite.
- % de control de capacidad.
- Tipo de intercambiador de calor de agua (intercambiador de placas soldado).
- Tipo de intercambiador de calor de aire (aletas cruzadas de paso múltiple), potencia consumida por el motor del ventilador, diámetro de la hélice del ventilador y cantidad de ventiladores.
- Número de circuitos independientes de refrigerante y modo de control de refrigerante(a través de una válvula de expansión termostática).
- Tipo de aceite y litros de él.
- Tipos de conexiones de tubería.
- Rangos de temperatura de salida del agua enfriada(de 5 a 15°C) y del agua calentada(de 35 a 55°C).
- Temperatura de entrada del aire al condensador.
- Presión máxima del agua permisible.
- Dispositivos de seguridad y protección.
- Tipo de fuente de alimentación.
- Planta, alzado y perfil de la enfriadora, acotadas.
- Instalación de la unidad (montaje, cimentaciones, tuberías, etc.).
- Ejemplo de selección de modelo. Aquí se explica como se debe seleccionar un equipo según los requisitos del sistema, a parte se dan factores de corrección por si la diferencia de la temperatura a la entrada y salida del intercambiador no es 5°C o en el caso de que el factor de ensuciamiento no sea 0.044 (m²°C)/kW.

Se proporciona en este apartado también una fórmula para el cálculo de la caída de presión del agua.

- Tablas de capacidades, para funcionamiento en refrigeración y funcionamiento en calefacción.

Las tablas de capacidad de refrigeración, dan para cada modelo y en función de la temperatura del agua a la salida y de la temperatura del aire a la entrada del condensador, los siguientes parámetros:

- CAP: capacidad frigorífica.
- CFR: caudal de agua enfriada 5°C.
- CPD: caída de presión en el intercambiador de calor del lado del agua.
- IPT: potencia absorbida por los compresores.

Modelo de la enfriadora

Temperatura de salida del agua del evaporador

Temperatura del aire

ABT	COT	RCUE40AG				RCUE50AG	
		CAP	CFR	CPD	IPT	CAP	CFR
25,0	5,0	112,1	19,3	40,8	37,6	137,5	23,6
	6,0	115,4	19,9	43,0	38,0	141,5	24,3
	7,0	118,7	20,4	45,3	38,3	145,6	25,0
	8,0	122,0	21,0	47,7	38,6	149,7	25,7
	9,0	125,3	21,6	50,1	38,9	153,7	26,4
	10,0	128,7	22,1	52,6	39,3	157,8	27,1
	11,0	132,0	22,7	55,1	39,6	161,9	27,8
	12,0	135,3	23,3	57,7	39,9	165,9	28,5
	13,0	138,6	23,8	60,3	40,2	170,0	29,2
	14,0	141,9	24,4	63,0	40,6	174,0	29,9
15,0	145,2	25,0	65,8	40,9	178,1	30,6	
30,0	5,0	105,7	18,2	36,6	39,6	129,7	22,3
	6,0	109,0	18,8	38,7	40,2	133,7	23,0
	7,0	112,4	19,3	41,0	40,9	137,8	23,7
	8,0	115,7	19,9	43,2	41,5	141,9	24,4
	9,0	119,0	20,5	45,5	42,2	145,9	25,1
	10,0	122,3	21,0	47,9	42,8	150,0	25,8

figura 4.21: Tablas de capacidades frigoríficas

Las tablas de capacidades caloríficas, dan para cada modelo y en función de la temperatura del agua a la salida y de la temperatura del aire a la entrada del evaporador, los siguientes parámetros:

- HCAP. Capacidad calorífica.
- HFR: caudal de agua calentada 5°C.
- HPD: caída de presión del intercambiador de calor del lado del agua (kPa).
- IPT: potencia absorbida por los compresores.

Modelo de la enfriadora

Temperatura de salida del agua

Temperatura de entrada del aire

ABTW	HOT	RHUE40AG				
		HCAP	HFR	HPD	IPT	
10,0	40,0	121,6	20,9	47,4	36,9	
	45,0	120,6	20,7	46,7	41,8	
	50,0	119,4	20,5	45,8	48,3	
	55,0	118,4	20,4	45,1	56,3	
6,0	45,0	110,0	18,9	39,4	39,7	
	5,0	40,0	109,0	18,8	38,7	35,3
	45,0	107,4	18,5	37,7	39,7	
	50,0	105,7	18,2	36,6	45,4	
0,0	55,0	104,0	17,9	35,5	52,6	
	40,0	96,4	16,6	30,9	33,8	
	45,0	94,2	16,2	29,6	37,6	
	50,0	91,9	15,8	28,3	42,6	
-5,0	55,0	89,8	15,4	27,1	48,8	
	40,0	83,7	14,4	23,8	32,3	
	45,0	81,0	13,9	22,4	35,5	
	50,0	78,2	13,5	21,0	39,8	
-10,0	55,0	75,4	13,0	19,6	45,1	
	40,0	71,0	12,2	17,6	30,7	
	45,0	67,7	11,7	16,1	33,4	
	50,0	64,4	11,1	14,7	37,0	
	55,0	61,2	10,5	13,3	41,4	

figura 4.22: Tablas de capacidades caloríficas

Estos datos, tanto en refrigeración como en calefacción siempre se dan teniendo en cuenta que el incremento de temperatura del intercambiador del lado del agua es de 5°C y que el factor de ensuciamiento es 0.44×10^{-4} (m²K)/W.

- Datos eléctricos. Para tres tipos de tensiones de alimentación de la unidad, se proporcionan:
 - Tensión instantánea aplicable.
 - Para el motor del compresor se da en refrigeración y calefacción, la corriente inicial, corriente en funcionamiento potencia de entrada.
 - Para el motor del ventilador se proporciona la corriente en funcionamiento y la entrada de potencia.
 - Corriente máxima de la unidad.
- Nivel de presión acústica para distintas bandas de frecuencias.
- Límites de funcionamiento:
 - Rango de la tensión de servicio en porcentaje de la tensión nominal.
 - Desequilibrio de tensión.

- Tensión inicial.
- Para refrigeración y calefacción, se da la temperatura mínima y máxima de salida del agua (5 y 15°C respectivamente para refrigeración y 30 y 35°C respectivamente para calefacción) y temperatura mínima y máxima de entrada de aire (-5 y 40°C respectivamente para refrigeración y -10 y 15.5°C respectivamente para calefacción).
- Presión máxima permisible del agua.
- Caudal de agua.
- Volumen mínimo interno de agua y volumen interno del enfriador de agua.
- Tablas de rendimientos a carga parcial. En esta tabla según la temperatura exterior y el % de carga en el compresor, da el % de capacidad frigorífica, la potencia total de entrada y el COP.
- Tablas de correcciones por el glicol necesario a bajas temperaturas ambientes para la capacidad de enfriamiento, la potencia de entrada , el caudal y la caída de presión.

Datos relativos a los componentes:

- Para el compresor se da el tipo, las rpm, el desplazamiento volumétrico,% de control de capacidad, presión neumática al lado de alta y al lado de baja, tipo de motor, aceite y peso neto.
- Condensador: tipo, material, diámetro exterior y filas del tubo de condensador; material de las aletas y separación, número de condensadores, presión de servicio máxima; tipo, cantidad, diámetro exterior, rpm, y caudal de aire del ventilador; tipo del motor del ventilador, salida nominal, cantidad y polos.
- Enfriador de agua: se proporciona el tipo, las dimensiones la presión máxima permisible al lado del agua y al lado del refrigerante, el volumen interno y material.
- Sistema de control.
- Diagrama de cableado.
- Opciones.

4.3. Comparación de datos disponibles en los catálogos

En este apartado se estudiarán las diferencias que al estudiar los catálogos anteriores se han encontrado. Esto pondrá de manifiesto la dificultad que existe en el entendimiento y correcto manejo de los catálogos. Algunas de las diferencias más destacadas se citan a continuación.

Respecto a la potencia frigorífica, Eurovent da el concepto de capacidad frigorífica bruta, que se definió en el apartado 3.3. En los tres catálogos, en los apartados de especificaciones técnicas, dan la capacidad frigorífica nominal. En las tablas de capacidad, sin embargo, se habla en Hitachi de capacidad de enfriamiento, en Daikin de capacidad total, la cual, por cierto, es distinta a la nominal que se da en las especificaciones técnicas, y en Carrier se habla de capacidad frigorífica neta.

En ningún punto del catálogo se habla de capacidad frigorífica bruta, que es la definida por Eurovent, pero no solo eso, sino que además no se explica de qué capacidad de se está tratando.

Por ejemplo, ¿Qué significa la capacidad frigorífica neta de Carrier? Esta coincide con la capacidad frigorífica nominal que se da en las especificaciones técnicas y se supone que es la capacidad frigorífica sin corregir por el calor de la bomba.

Lo que se llama capacidad total en las tablas de Daikin ¿Por qué no coincide con la capacidad frigorífica nominal que se da en las especificaciones técnicas?(la capacidad nominal de las especificaciones técnicas es un poco mayor que la total de las tablas de capacidad). Supuestamente esta capacidad total de Daikin es lo mismo que la capacidad neta de Carrier, sin embargo, en Carrier sí coincide con la capacidad frigorífica nominal.

En Hitachi, sólo se menciona la capacidad de enfriamiento, ¿A qué tipo de capacidad hará referencia?

Con la capacidad calorífica nominal ocurre algo muy parecido a lo anterior. En las especificaciones técnicas se ofrece una capacidad calorífica nominal, sin embargo en las tablas de capacidades se da en Hitachi la capacidad calorífica, en Carrier la capacidad calorífica instantánea, y en Daikin la capacidad total. No se tiene claro si todas estas capacidades son similares y coinciden con la capacidad bruta que define Eurovent.

Referentes a los consumos, también existen muchas diferencias. Por ejemplo, en las especificaciones técnicas, Hitachi da una entrada total de potencia y Daikin da un

consumo nominal, probablemente este consumo sea el total también, pero en realidad no se indica.

En las tablas de capacidades de refrigeración y calefacción, la potencia absorbida por los compresores se dan en las tres marcas, pero el consumo total de la unidad sólo lo da Carrier, y aunque indique que se refiere a compresores, ventiladores y sistema de control, no se tiene claro que coincida con la potencia absorbida útil de Eurovent.

A parte, en las tablas de capacidades se ofrecen los caudales de agua en el evaporador en caso de refrigeración y en el condensador en el caso de calefacción. Dependiendo de la marca que se trate los caudales se dan en distintas unidades, así, Hitachi lo da en m^3/h mientras que Carrier y Daikin lo dan en l/s. Daikin no lo da el caudal explícitamente, sino que ofrece una fórmula para su cálculo.

La caída de presión se da en las tablas de refrigeración en las marcas de Carrier e Hitachi en kPa, sin embargo en Daikin, se da como lecturas de un manómetro de alta y otro de baja, en bar. En las tablas de calefacción, se da en las marcas de Carrier e Hitachi, y en Daikin ni se da.

Las pérdidas de carga las certifica Eurovent, en el evaporador y en el condensador en refrigeración y en calefacción, sin embargo en los catálogos sólo se dan las que se han indicado antes.

Datos como el EER y el COP que también son certificados por Eurovent, en ningún momento se dan en los catálogos, tan sólo en las especificaciones técnicas de Daikin, se da un EER y un COP nominal, pero las confusiones que existen con las potencias, implicarán confusiones en el EER y el COP.

Otros aspecto a destacar interesante es que si Eurovent da una nomenclatura ninguno de los catálogos se adapta a ella, esto facilitaría mucho la comprensión de los catálogos.

Los puntos de temperatura en los que se dan los datos de los catálogos, no son iguales en ninguna de las tres marcas estudiadas nada más que en las condiciones nominales. Que sean iguales en las condiciones nominales permiten comparar los equipos en estas condiciones, pero si el equipo va a trabajar en otras condiciones, resultará imposible saber mirando los catálogos, cuál será el más interesante, y habrá que interpolar para poder hacer estas comparaciones.

Esto pone de manifiesto la complicación del estudio de los equipos. Cuando se estudia un catálogo hay que ser objetivo en los datos e intentar saber a qué se está refiriendo cada dato en cada momento, esto a veces es bastante difícil y en realidad no es sencillo escoger el equipo más adecuado.

4.4. Representación de datos

En este apartado se representan datos de los catálogos de los equipos estudiados en el apartado anterior, como potencias y consumos, en función de las temperaturas de agua a la salida y del aire a la salida.

De cada una de las características representadas se estudian las tasas de variación, con lo que se puede ver cuál de los equipos variará más sus características fuera de las condiciones nominales.

4.4.1. Modelo 30RH120B de Carrier

En primer lugar, para refrigeración, se representa la potencia frigorífica, consumo total, consumo del compresor y EER respecto a la temperatura del agua de salida.

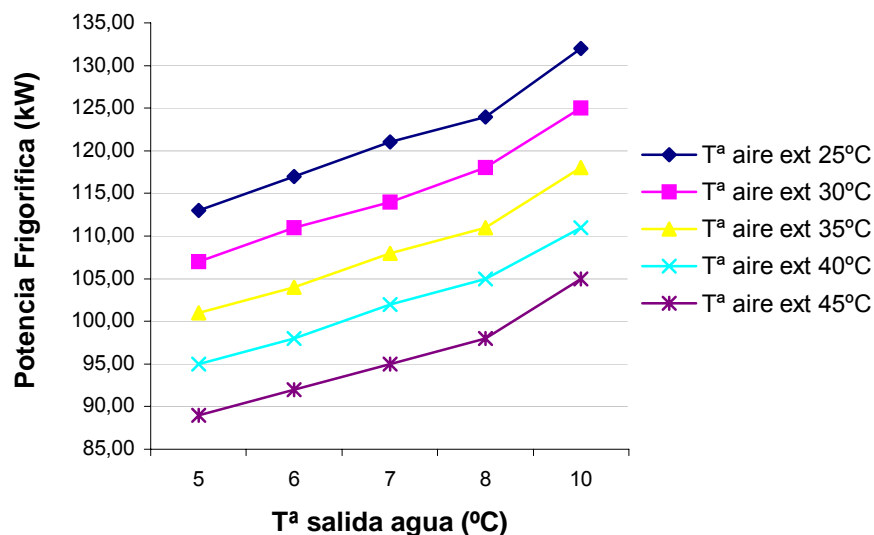


figura 4.23: Potencia frigorífica frente a temperatura de salida del agua, para distintas temperaturas del aire exterior.

La potencia frigorífica aumenta con la temperatura de salida del agua, porque el salto de temperaturas a la entrada del evaporador está aumentando. Para una temperatura de agua de salida, los valores menores de potencia frigorífica los encuentran las temperaturas exteriores mayores, ya que esto hará que el calor intercambiado en el condensador disminuya.

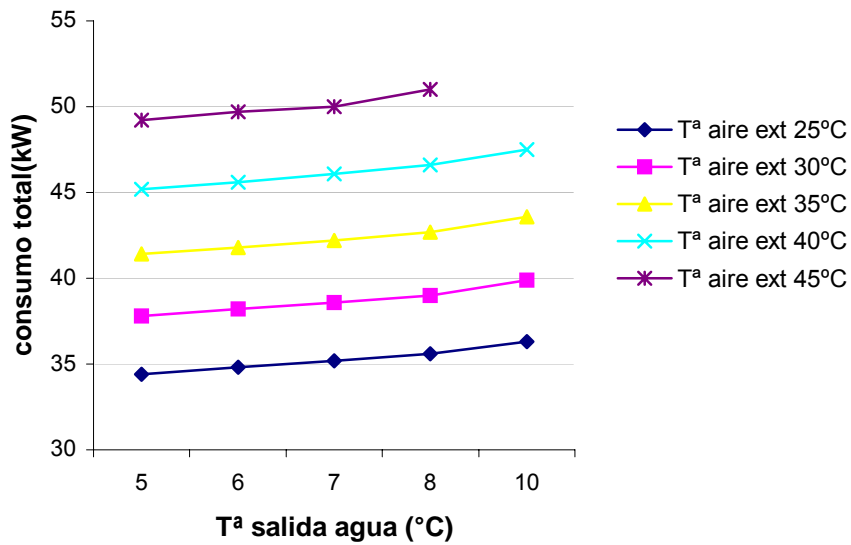


figura 4.24: Consumo total de la unidad frente a temperatura de salida del agua, para distintas temperaturas del aire exterior.

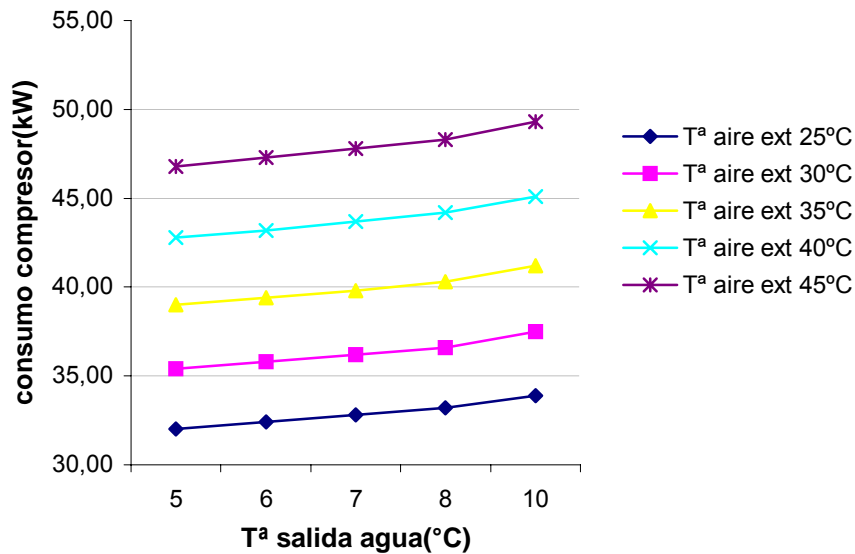


figura 4.25: Consumo del compresor frente la temperatura de salida del agua, para distintas temperaturas del aire exterior.

El EER que se representa a continuación, ha sido hallado como el cociente entre la capacidad frigorífica neta que se da en tablas y el consumo del compresor. Este valor del EER no es el que se certifica en Eurovent, porque no es ni la capacidad bruta la que usa ni la potencia absorbida útil, pero servirá para tener una idea de las variaciones que presenta con la temperatura.

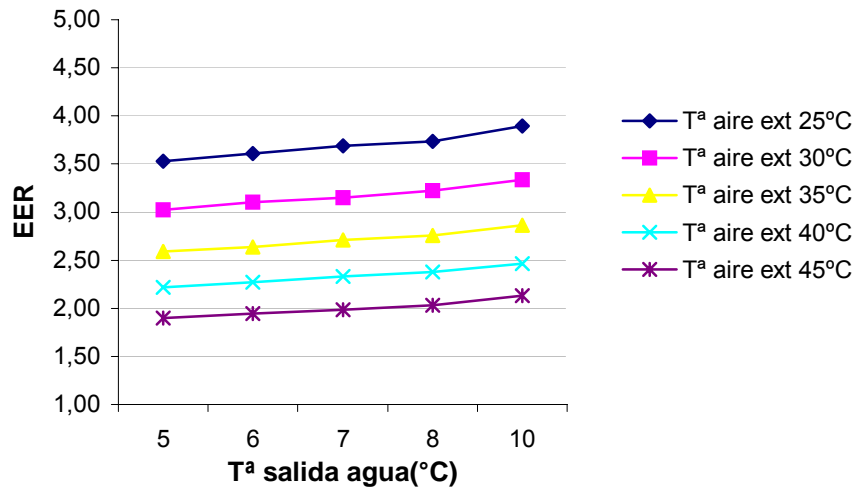


figura 4.26: EER frente la temperatura de salida del agua, para distintas temperaturas del aire exterior.

A continuación, se da el valor de la tasa de variación de cada curva de temperatura de aire exterior. Esta tasa de variación se ha conseguido hallando lo que varía cada uno de los intervalos y obteniendo un valor medio de estos.

La tasa de variación media de la potencia frigorífica, del consumo del compresor y del EER, da un valor estimado de los kW que varía la potencia frigorífica o el consumo del compresor, al variar un °C la temperatura de salida del agua.

Dividiendo las capacidades, consumos y EER por su valor nominal, se hallarán el valor de las tasas de variación porcentuales. Las tasas de variación, junto las tasas de variación porcentuales se indican en la siguiente tabla

Temperatura del aire exterior (°C)	Tasa de variación de la potencia frigorífica (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la potencia frigorífica (%/°C)	Tasa de Variación del consumo del compresor (kW/°C)	Tasa de variación porcentual del Consumo del compresor (%/°C)	Tasa de Variación del EER (1/°C)	Tasa de variación porcentual del EER (%/°C)
25	3,75	3,47	0,39	0,98	0,07	2,58
30	3,63	3,36	0,41	1,03	0,06	2,21
35	3,38	3,13	0,44	1,11	0,05	1,85
40	3,25	3,01	0,46	1,16	0,05	1,85
45	3,13	2,90	0,50	1,26	0,04	1,48
Valor medio de la tasa de variación	3,428	3,17	0,440	1,11	0,05	1,99

Tabla 4.8: Tasas de variación para la Potencia frigorífica, consumo del compresor, y EER respecto la temperatura del aire exterior.

De la interpretación de las tasas de variación anteriores se obtiene que se gana aproximadamente 3.428 kW de Potencia frigorífica por cada °C que aumente la temperatura de salida del agua, el consumo del compresor aumenta en 0.440 kW. Estos mismos valores en porcentajes dan que la potencia frigorífica aumenta un 3.17% de su valor nominal, el consumo del compresor un 1.11% del valor nominal y el EER un 1.99% de su valor nominal al aumentar un °C la temperatura de salida del agua.

Ahora, se representan los mismos parámetros anteriores respecto la temperatura del aire de entrada, para distintas temperaturas del agua de salida.

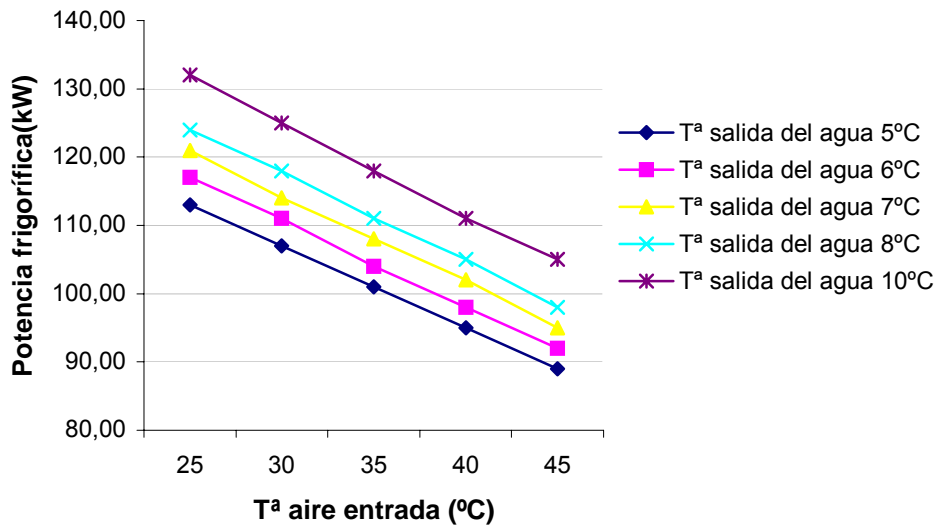


figura 4.27: Potencia frigorífica frente a temperatura de entrada de aire, para distintas temperaturas de salida del agua.

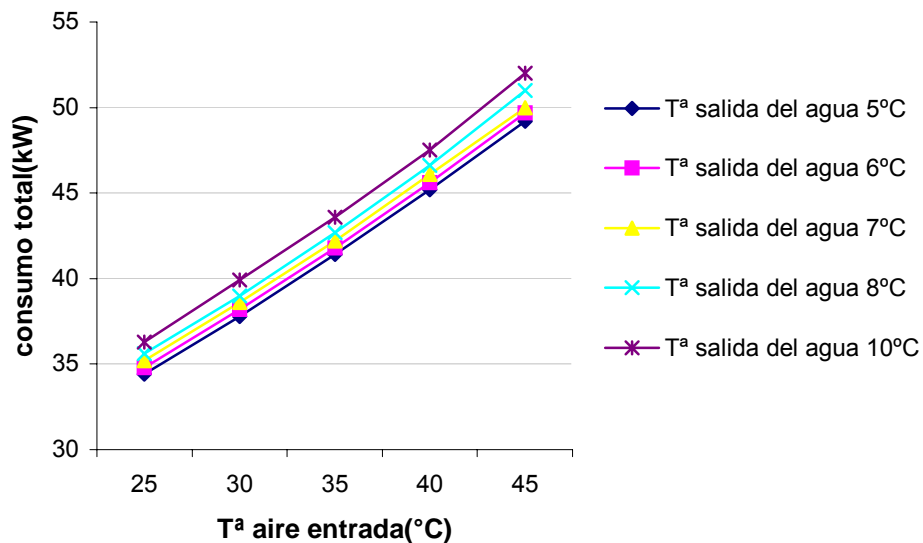


figura 4.28: Consumo total frente a temperatura de entrada de aire, para distintas temperaturas de salida del agua.

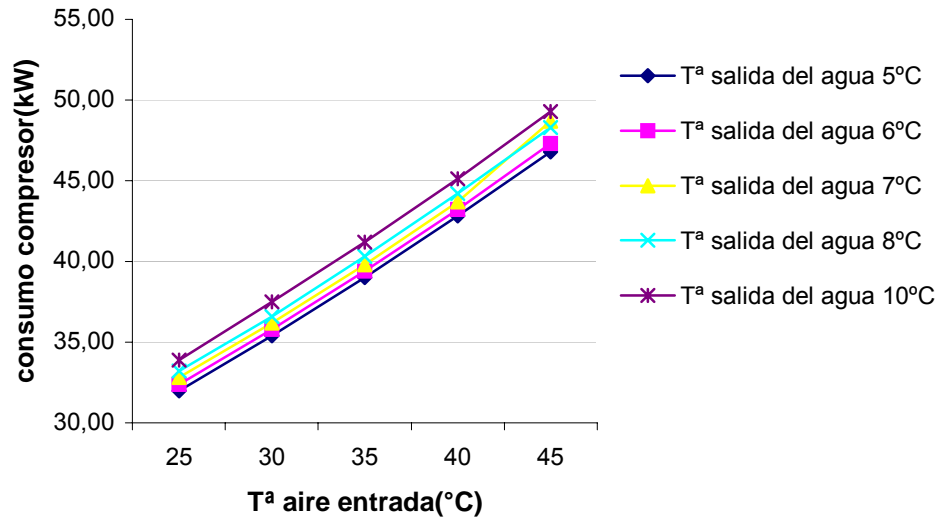


figura 4.29: Consumo del compresor frente la temperatura de entrada de aire, para distintas temperaturas de salida del agua.

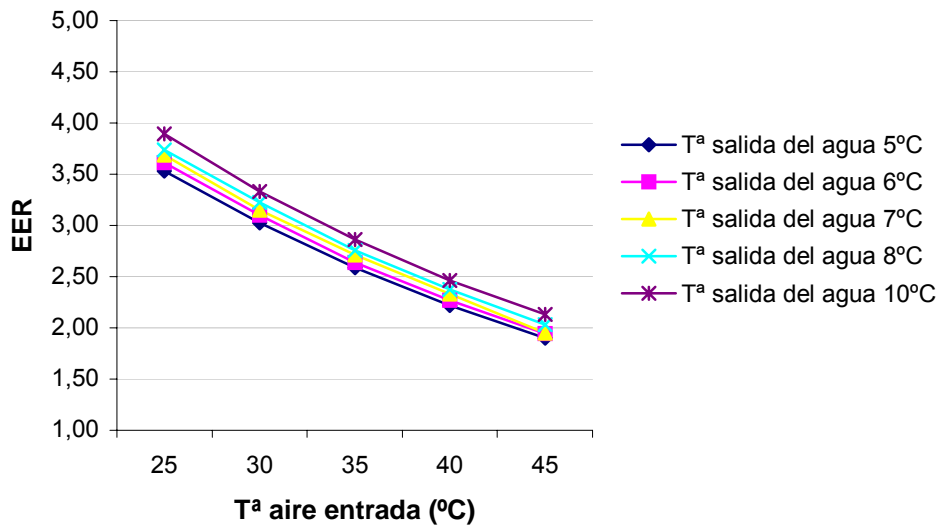


figura 4.30: EER frente la temperatura de entrada de aire, para distintas temperaturas de salida del agua.

La tabla de las tasas de variación quedan:

Temperatura del Agua de salida (°C)	Tasa de variación de la potencia frigorífica (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la potencia frigorífica (%/°C)	Tasa de Variación del consumo del compresor (kW/°C)	Tasa de variación porcentual del Consumo del compresor (%/°C)	Tasa de Variación del EER (1/°C)	Tasa de variación porcentual del EER (%/°C)
5	-1,2	-1,11	0,74	1,86	-0,08	-2,95
6	-1,25	-1,16	0,75	1,88	-0,08	-2,95
7	-1,3	-1,20	0,80	2,01	-0,09	-3,32
8	-1,3	-1,20	0,76	1,91	-0,09	-3,32
10	-1,35	-1,25	0,77	1,93	-0,09	-3,32
Valor medio de la tasa de variación	-1,28	-1,19	0,76	1,92	-0,09	-3,17

Tabla 4.9: Tasas de variación para la Potencia frigorífica y el consumo del compresor, respecto la temperatura del agua de salida.

De la interpretación de las tasas de variación anteriores se obtiene que se pierde aproximadamente 1.28 kW de potencia frigorífica y el consumo del compresor aumenta en 0.76 kW por cada °C que aumente la temperatura de entrada del aire exterior. De las tasas porcentuales, se obtiene que la potencia frigorífica disminuye un 1.19% sobre el valor nominal, el consumo del compresor aumenta un 1.92% sobre el valor nominal y el EER, disminuye un 3.17% del valor nominal.

Se repite el mismo proceso para calefacción, comenzando por representar la capacidad de calefacción, consumo del compresor, consumo total y COP frente a la temperatura del agua de salida y a continuación frente a la temperatura de aire a la entrada:

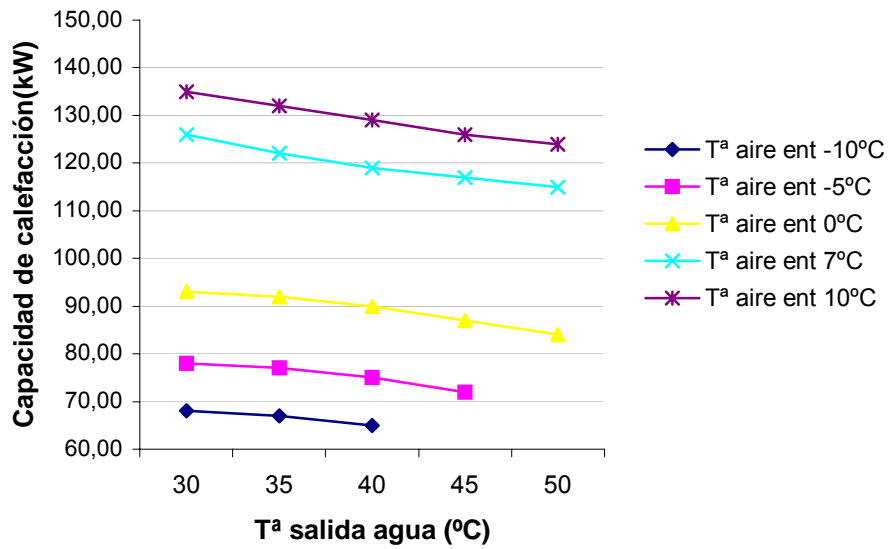


figura 4.31: Capacidad de calefacción frente a temperatura de salida del agua, para distintas temperaturas del aire exterior.

En el gráfico anterior se puede observar como al aumentar la temperatura de salida del agua, el calor intercambiado en el condensador disminuye, por tanto la capacidad de calefacción. Para una temperatura de salida del agua constante, se obtiene menos capacidad de calefacción con una temperatura del aire a la entrada más pequeña, ya que el calor intercambiado en el evaporador disminuirá.

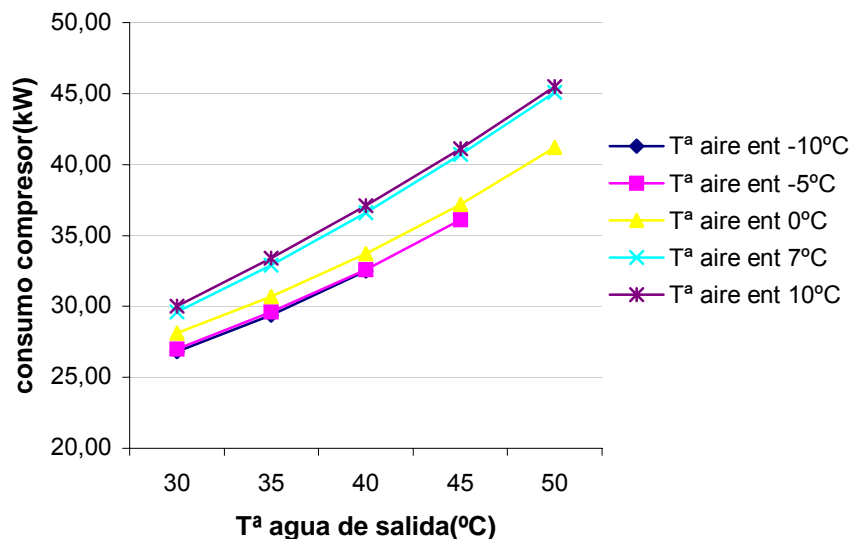


figura 4.32 : Consumo del compresor frente a temperatura de salida del agua, para distintas temperaturas del aire exterior.

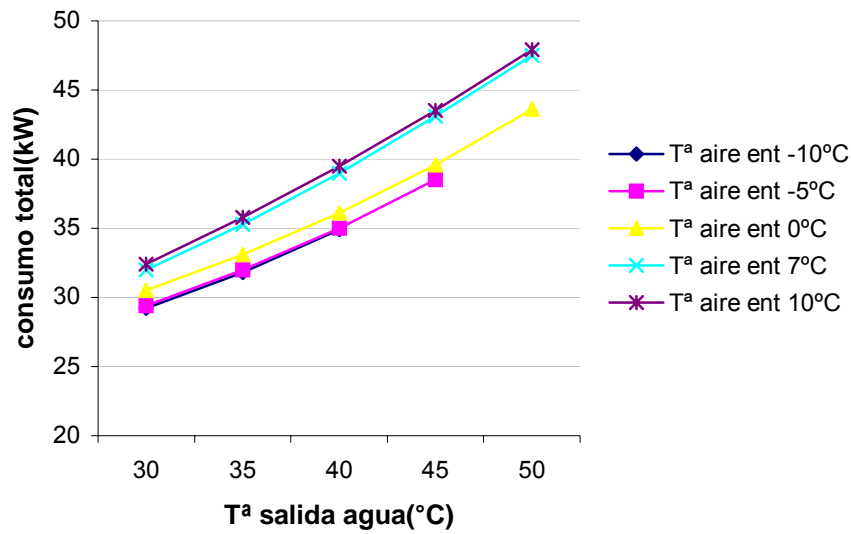


figura 4.33: Consumo total frente la temperatura de salida del agua, para distintas temperaturas del aire exterior.

Los valores del COP representados a continuación, no son en realidad los que certifica Eurovent, ya que están hallados con la capacidad que se da en tablas y la potencia absorbida por los compresores.

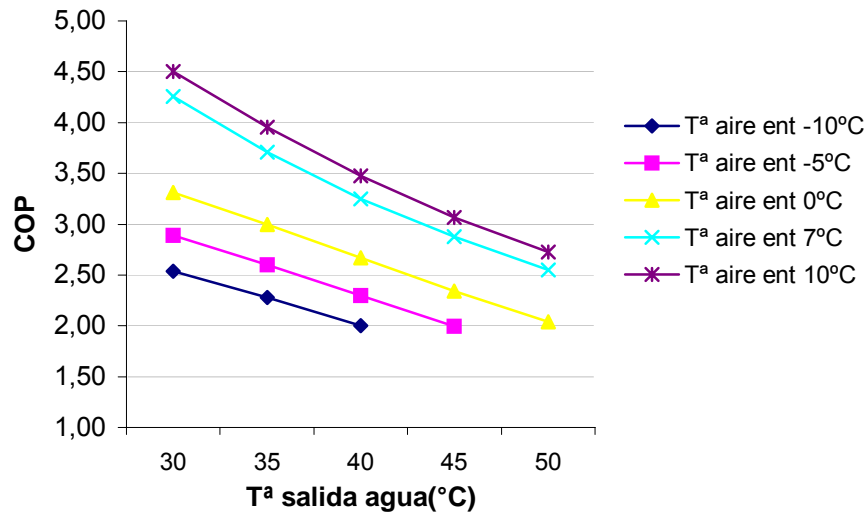


figura 4.34: COP frente la temperatura de salida del agua, para distintas temperaturas del aire exterior.

Las tasas de variación en el caso de calefacción, son:

Temperatura del aire exterior (°C)	Tasa de variación de la capacidad calorífica (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la capacidad calorífica (%/°C)	Tasa de Variación del consumo del compresor (kW/°C)	Tasa de variación porcentual del Consumo del compresor (%/°C)	Tasa de Variación del COP (1/°C)	Tasa de variación porcentual del COP (%/°C)
-10	-0,30	-0,26	0,57	1,40	-0,08	-2,79
-5	-0,40	-0,34	0,61	1,50	-0,06	-2,09
0	-0,45	-0,38	0,66	1,62	-0,06	-2,09
7	-0,55	-0,47	0,78	1,92	-0,10	-3,48
10	-0,55	-0,47	0,78	1,92	-0,10	-3,48
Valor medio de la tasa de variación	-0,45	-0,38	0,68	1,67	-0,08	-2,79

Tabla 4.10: Tasas de variación para Capacidad de Calefacción, consumo del compresor y COP respecto la temperatura del aire exterior.

De la interpretación de las tasas de variación anteriores se obtiene que se pierde aproximadamente 0.45 kW de Capacidad de calefacción, aumenta el consumo del compresor en 0.68 kW por cada °C que aumente la temperatura de salida del agua. Las tasas de variación porcentual indican que la capacidad de calefacción disminuye un 0.38%, el consumo del compresor aumenta un 1.67% y el COP aumenta en un 2.79% sobre sus valores nominales por cada °C que aumente la temperatura de salida del agua.

Respecto la temperatura del aire a la entrada, la capacidad de calefacción queda:

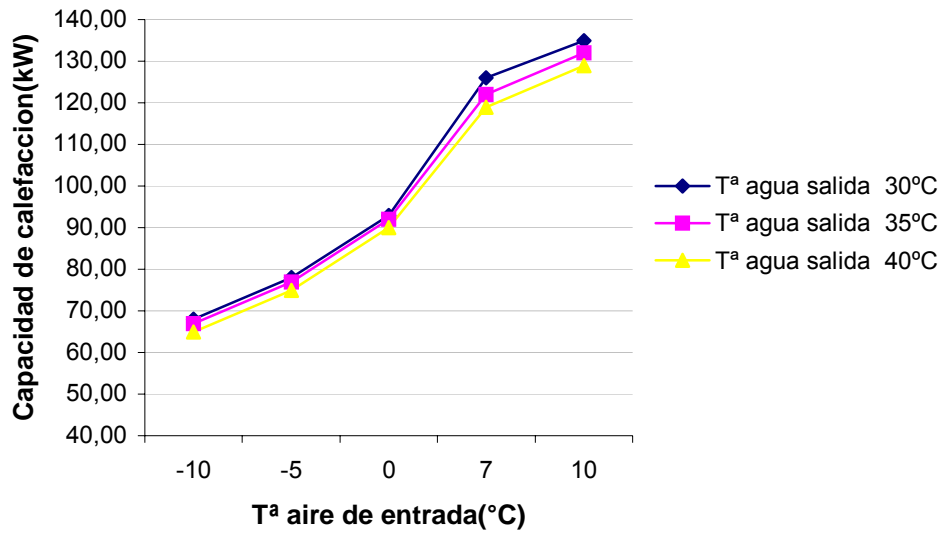


figura 4.35: Capacidad de calefacción respecto la temperatura del aire a la entrada para distintos valores de la temperatura de salida del agua

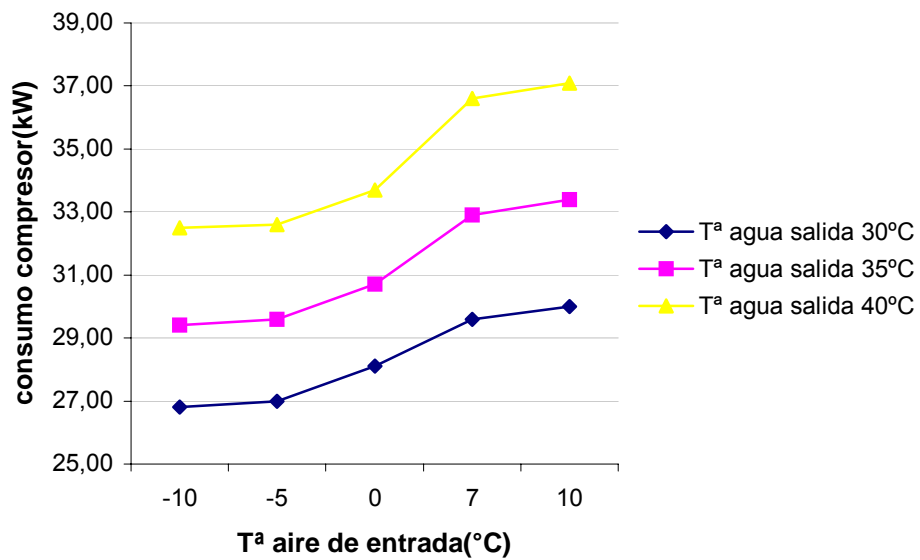


figura 4.36: Consumo del compresor respecto la temperatura del aire a la entrada para distintos valores de la temperatura de salida del agua

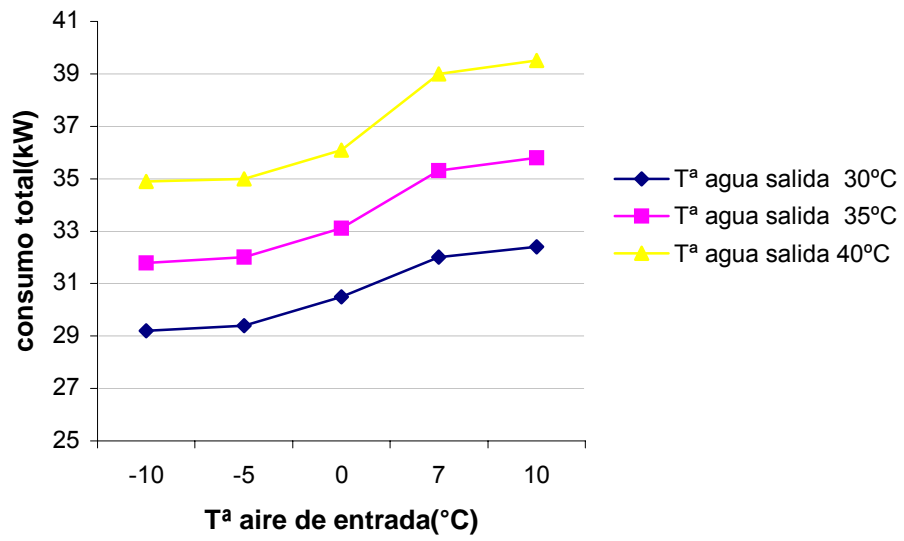


figura 4.37: Consumo total respecto la temperatura del aire a la entrada para distintos valores de la temperatura de salida del agua

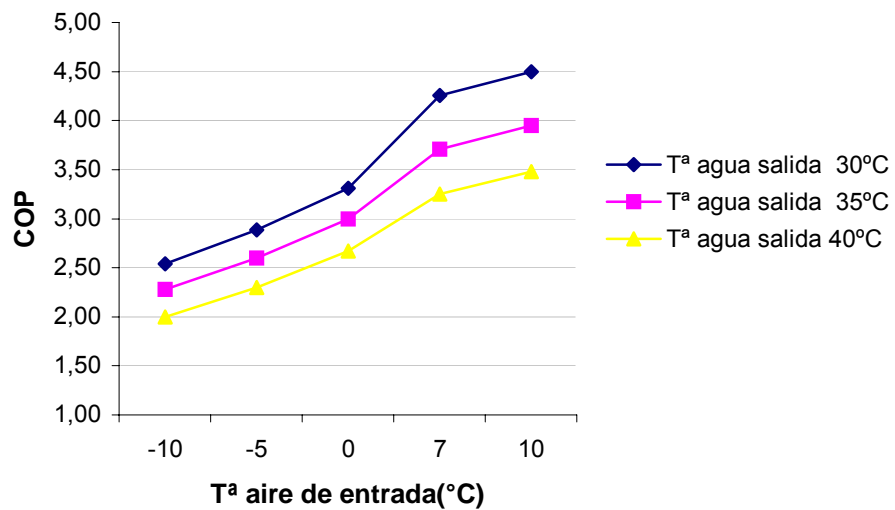


figura 4.38: COP respecto la temperatura del aire a la entrada para distintos valores de la temperatura de salida del agua

Las tasas de variación en el caso de calefacción, son:

Temperatura del agua de salida (°C)	Tasa de variación de la capacidad calorífica (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la capacidad calorífica (%/°C)	Tasa de Variación del consumo del compresor (kW/°C)	Tasa de variación porcentual del Consumo del compresor (%/°C)	Tasa de Variación del COP (1/°C)	Tasa de variación porcentual del COP (%/°C)
30	3,18	2,72	0,13	0,32	0,09	3,14
35	3,15	2,69	0,19	0,47	0,08	2,79
40	3,12	2,67	0,21	0,52	0,07	2,44
Valor medio de la tasa de variación	3,15	2,69	0,18	0,43	0,08	2,79

Tabla 4.11: Tasas de variación para Capacidad de Calefacción, consumo del compresor y COP respecto la temperatura del aire exterior.

De la interpretación de las tasas de variación anteriores se obtiene que se gana 3.15 kW de Capacidad de calefacción y el consumo del compresor aumenta en 0.18 kW por cada °C que aumente la temperatura del aire a la entrada. De las tasas de variación porcentuales se obtiene que la capacidad de calefacción aumenta en un 2.69%, el consumo del compresor un 0.43% y el COP un 2.79% respecto sus valores nominales por cada °C que aumente la temperatura del aire de entrada.

4.4.2. Modelo EUWY040BZ6Y de Daikin

En primer lugar, para refrigeración, se representa la potencia frigorífica, consumo del compresor y EER respecto a la temperatura del agua de salida.

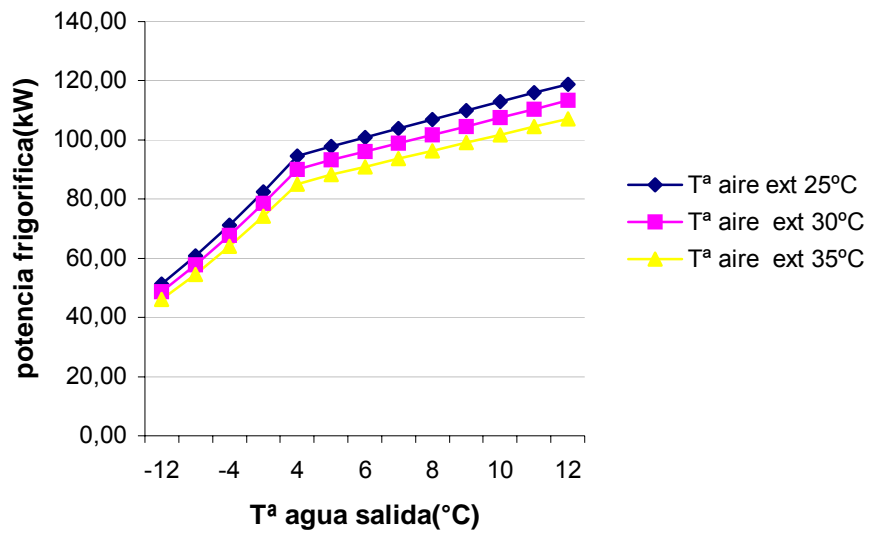


figura 4.39: Potencia frigorífica frente a temperatura de salida del agua, para distintas temperaturas del aire exterior.

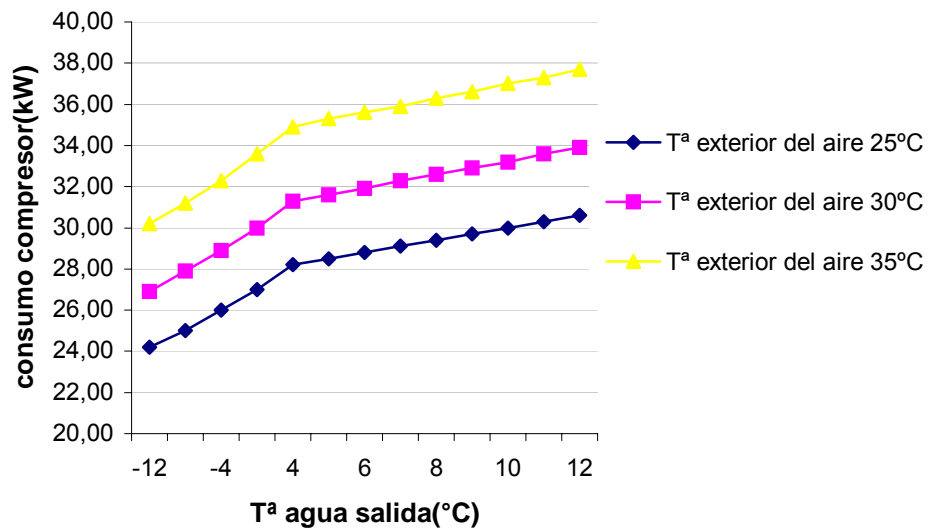


figura 4.40: Consumo del compresor frente la temperatura de salida del agua, para distintas temperaturas del aire exterior.

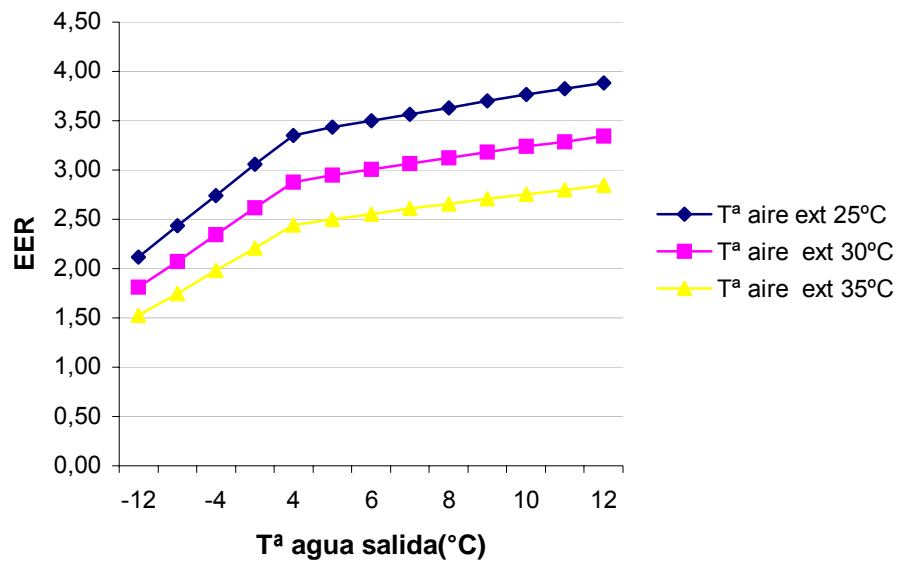


figura 4.41: EER frente la temperatura de salida del agua, para distintas temperaturas del aire exterior.

Los valores de las tasas de variación son:

Temperatura del aire exterior (°C)	Tasa de variación de la potencia frigorífica (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la potencia frigorífica (%/°C)	Tasa de Variación del consumo del compresor (kW/°C)	Tasa de variación porcentual del Consumo del compresor (%/°C)	Tasa de Variación del EER (1/°C)	Tasa de variación porcentual del EER (%/°C)
25	3,05	3,26	0,30	0,84	0,07	2,69
30	2,913	3,11	0,33	0,92	0,06	2,31
35	2,763	2,95	0,35	0,97	0,05	1,92
Valor medio de la tasa de variación	2,909	3,108	0,33	0,91	0,06	2,31

Tabla 4.12: Tasas de variación para la Potencia frigorífica, consumo del compresor y EER respecto la temperatura del aire exterior.

De la interpretación de las tasas de variación anteriores se obtiene que se gana aproximadamente 2.909 kW de Potencia frigorífica y el consumo del compresor aumenta en 0.330 kW por cada °C que aumente la temperatura de salida del agua. De las tasas de variación porcentuales se tiene que la capacidad frigorífica aumenta un 3.108%, el consumo del compresor un 0.91% y el EER un 2.31%, sobre sus valores nominales, por cada °C que aumente la temperatura de salida del agua.

Ahora, se representan los mismos parámetros anteriores respecto la temperatura del aire de entrada, para distintas temperaturas del agua de salida.

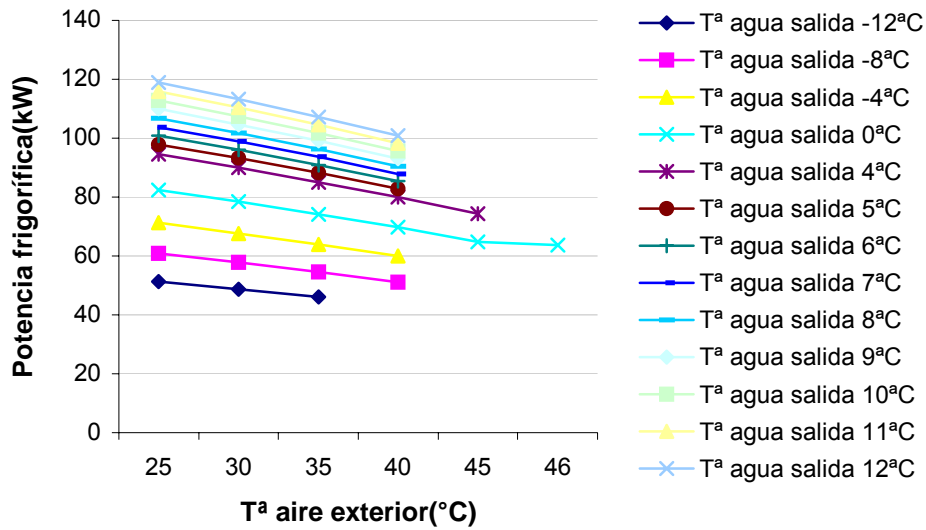


figura 4.42: Potencia frigorífica frente a temperatura de entrada de aire, para distintas temperaturas de salida del agua.

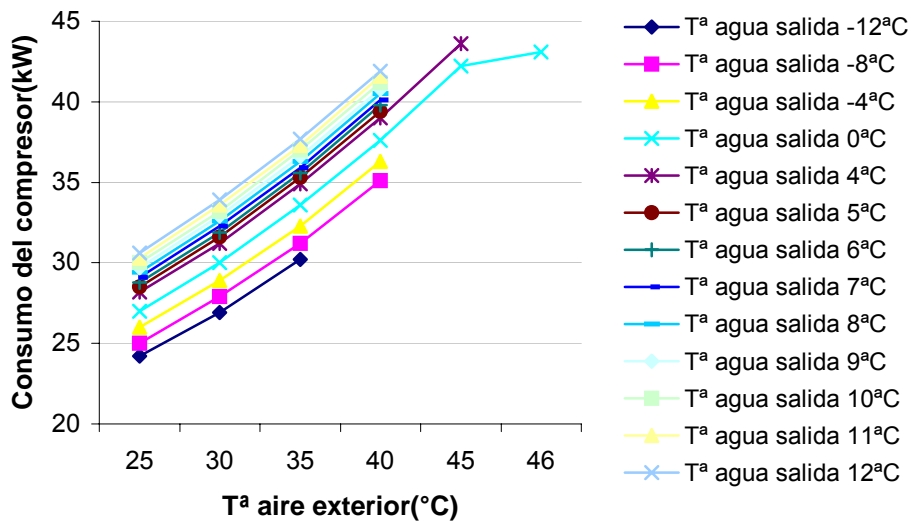


figura 4.43: Consumo del compresor frente la temperatura de entrada de aire, para distintas temperaturas de salida del agua.

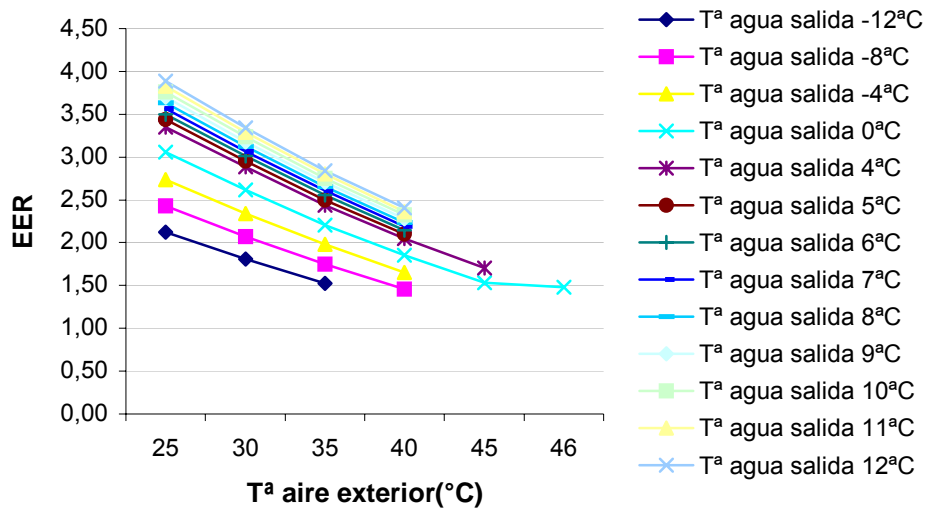


figura 4.44: EER frente la temperatura de entrada de aire, para distintas temperaturas de salida del agua.

La tabla de las tasas de variación quedan:

Temperatura del Agua de salida (°C)	Tasa de variación de la potencia frigorífica (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la potencia frigorífica (%/°C)	Tasa de Variación del consumo del compresor (kW/°C)	Tasa de variación porcentual del Consumo del compresor (%/°C)	Tasa de Variación del EER (1/°C)	Tasa de variación porcentual del EER (%/°C)
5	-1,01	-1,08	0,73	2,03	-0,09	-3,46
6	-1,03	-1,10	0,73	2,03	-0,09	-3,46
7	-1,06	-1,13	0,73	2,03	-0,09	-3,46
8	-1,09	-1,16	0,74	2,06	-0,09	-3,46
9	-1,12	-1,20	0,74	2,06	-0,09	-3,46
10	-1,15	-1,23	0,75	2,09	-0,10	-3,85
11	-1,17	-1,25	0,75	2,09	-0,10	-3,85
12	-1,21	-1,29	0,75	2,09	-0,10	-3,85
Valor medio de la tasa de variación	-1,11	-1,18	0,74	2,06	-0,09	-3,61

Tabla 4.13: Tasas de variación para la Potencia frigorífica, consumo del compresor y EER, respecto la temperatura del agua de salida.

De la interpretación de las tasas de variación anteriores se obtiene que se pierde aproximadamente 1.11 kW de Potencia frigorífica y el consumo del compresor aumenta en 0.74 kW por cada °C que aumente la temperatura de entrada del aire exterior. De las

tasas de variación porcentual se tiene que la potencia frigorífica disminuye un 1.18%, el consumo del compresor aumenta un 2.06% y el EER disminuye un 3.61%, sobre sus valores nominales por cada °C que aumente la temperatura de entrada del aire exterior.

Funcionando en calefacción:

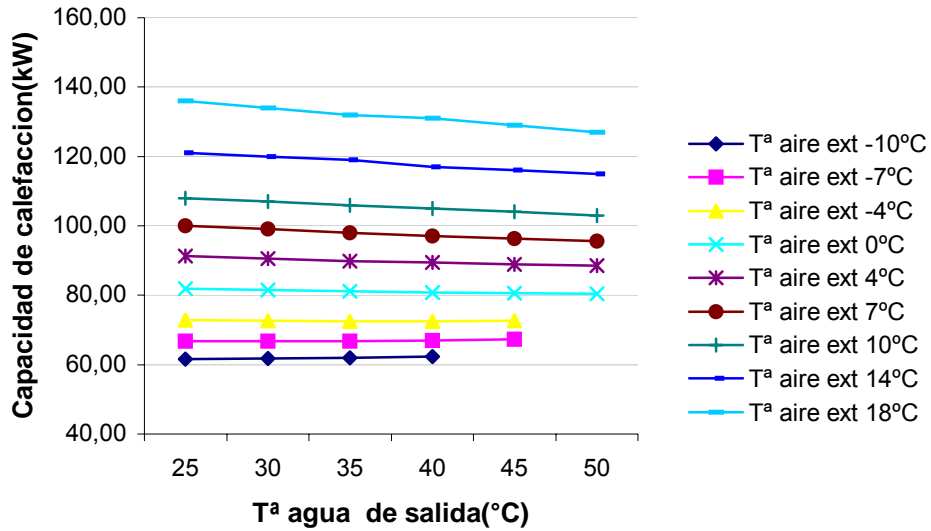


figura 4.45: Capacidad de calefacción frente a temperatura de salida del agua, para distintas temperaturas del aire exterior.

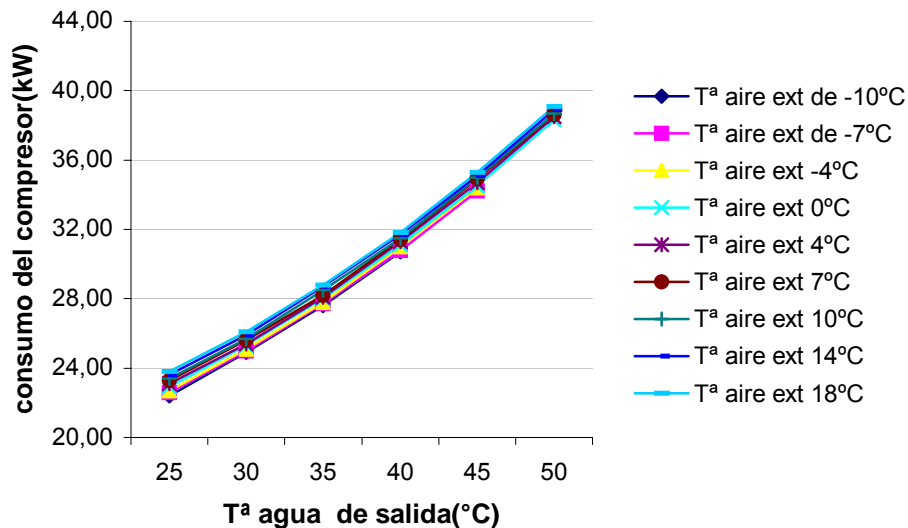


figura 4.46: Consumo del compresor frente la temperatura de salida del agua, para distintas temperaturas del aire exterior.

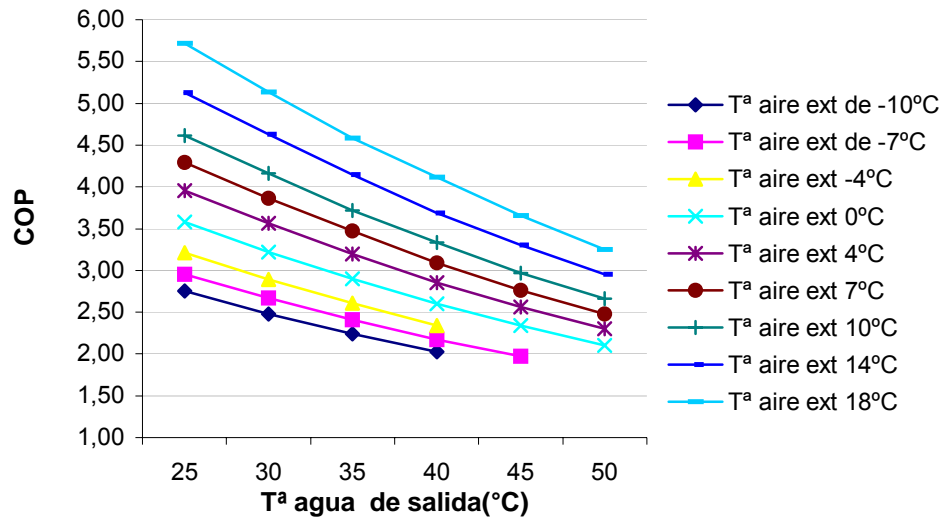


figura 4.47: COP frente la temperatura de salida del agua, para distintas temperaturas del aire exterior

Las tasas de variación en el caso de calefacción, son:

Temperatura del aire exterior (°C)	Tasa de variación de la capacidad calorífica (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la capacidad calorífica (%/°C)	Tasa de Variación del consumo del compresor (kW/°C)	Tasa de variación porcentual del Consumo del compresor (%/°C)	Tasa de Variación del COP (1/°C)	Tasa de variación porcentual del COP (%/°C)
-10	0,05	0,05	0,55	1,58	-0,05	-1,81
-7	0,03	0,03	0,58	1,66	-0,05	-1,81
4	-0,01	-0,01	0,59	1,69	-0,05	-1,81
0	-0,06	-0,06	0,62	1,78	-0,06	-2,17
4	-0,11	-0,11	0,62	1,78	-0,07	-2,54
7	-0,18	-0,19	0,61	1,75	-0,07	-2,54
10	-0,20	-0,21	0,61	1,75	-0,08	-2,90
14	-0,24	-0,25	0,61	1,75	-0,09	-3,26
18	-0,36	-0,37	0,61	1,75	-0,10	-3,64
Valor medio de la tasa de variación	-0,12	-0,12	0,60	1,72	-0,07	-2,50

Tabla 4.14: Tasas de variación para Capacidad de Calefacción, el consumo del compresor y COP, respecto la temperatura del aire exterior.

De la interpretación de las tasas de variación anteriores se obtiene que se pierde aproximadamente 0.12 kW de Capacidad de calefacción y el consumo del compresor aumenta en 0.60 kW, por cada °C que aumente la temperatura de salida del agua. De las tasas de variación porcentual lo que se sabe es que la capacidad calorífica disminuye un 0.12%, el consumo del compresor aumenta un 1.72% y el COP disminuye un 2.51%

sobre sus valores nominales, por cada °C que aumente la temperatura de salida del agua.

La representación respecto la temperatura del aire a la entrada, queda:

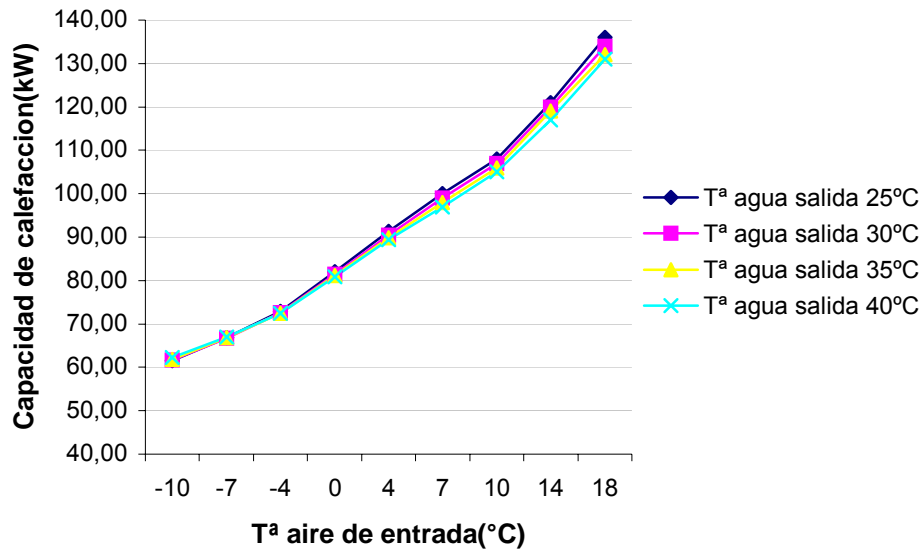


figura 4.48: Capacidad de calefacción frente la temperatura de entrada del aire, para distintos valores de temperatura de entrada de agua.

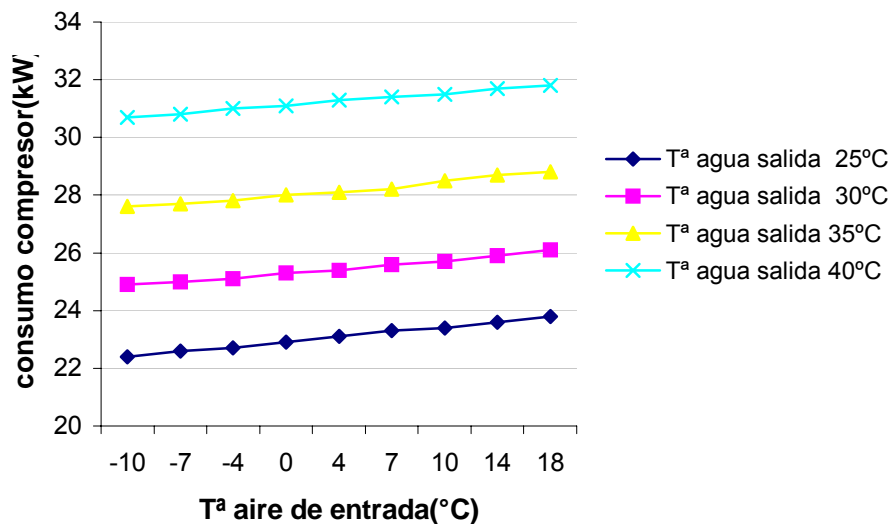


figura 4.49: Consumo del compresor frente la temperatura de entrada del aire, para distintos valores de temperatura de entrada de agua.

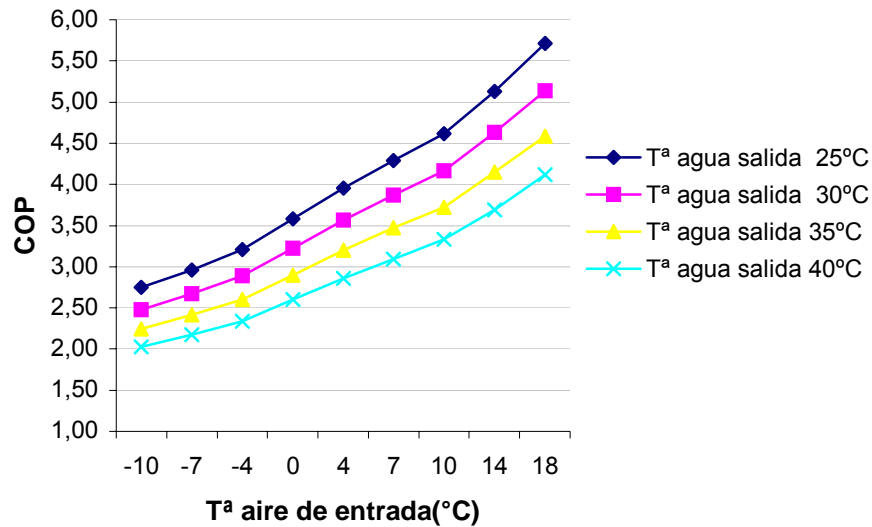


figura 4.50: COP frente la temperatura de entrada del aire, para distintos valores de temperatura de entrada de agua.

La tabla de las tasas de variación quedan:

Temperatura del Agua de salida (°C)	Tasa de variación de la capacidad calorífica (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la capacidad calorífica (%/°C)	Tasa de Variación del consumo del compresor (kW/°C)	Tasa de variación porcentual del Consumo del compresor (%/°C)	Tasa de Variación del COP (1/°C)	Tasa de variación porcentual del COP (%/°C)
25	2,62	2,72	0,05	0,14	0,10	3,64
30	2,54	2,64	0,04	0,11	0,09	3,27
35	2,47	2,56	0,04	0,11	0,08	2,91
40	2,42	2,51	0,04	0,11	0,07	2,55
Valor medio de la tasa de variación	2,51	2,61	0,04	0,12	0,09	3,09

Tabla 4.15: Tasas de variación para la Capacidad de calefacción , el consumo del compresor y el COP, respecto la temperatura del agua de salida.

De la interpretación de las tasas de variación anteriores se obtiene que se gana aproximadamente 2.51 kW de Capacidad de calefacción y el consumo del compresor aumenta en 0.04 kW por cada °C que aumente la temperatura de entrada del aire exterior. De las tasas de variación porcentuales se puede observar como la potencia frigorífica aumenta un 2.61%, el consumo del compresor aumenta un 0.12% y el COP aumenta un 3.09% sobre sus valores nominales por cada °C que aumente la temperatura de entrada del aire exterior.

4.4.3. Modelo RHUE40AG de Hitachi

En primer lugar, para refrigeración, se representa la potencia frigorífica, consumo del compresor y EER respecto la temperatura del agua de salida.

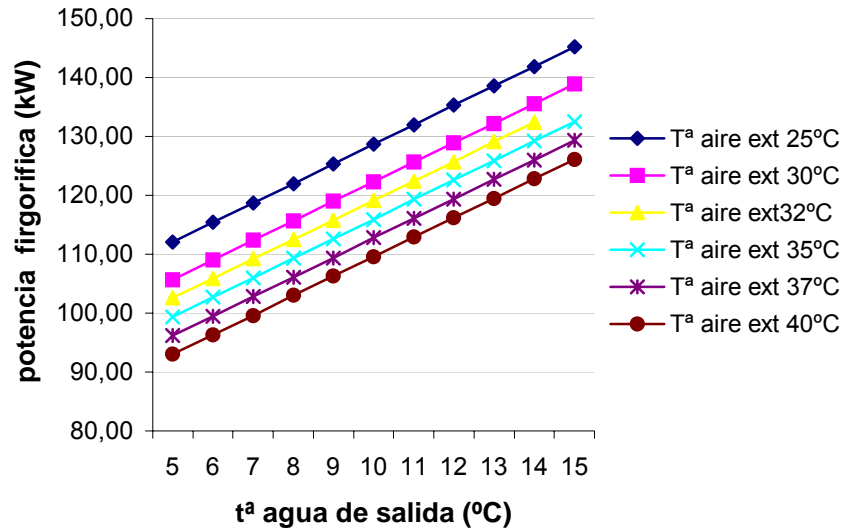


figura 4.51: Potencia frigorífica frente la temperatura de salida del agua, para distintas temperaturas del aire exterior.

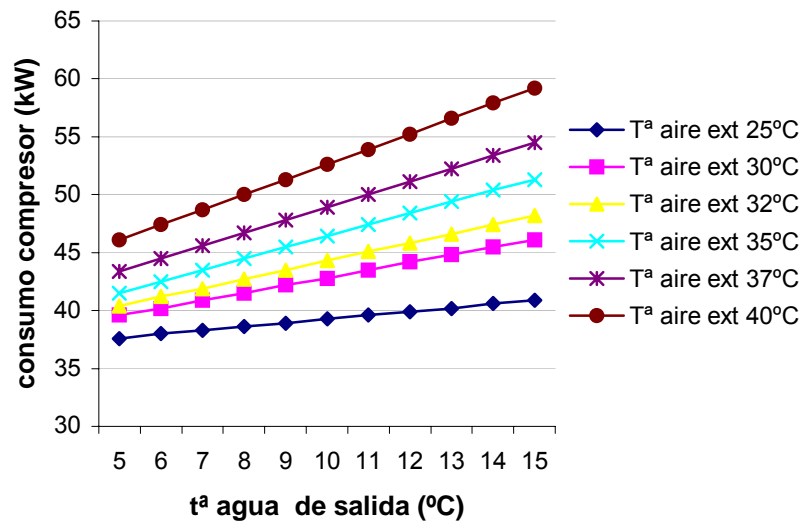


figura 4.52: Consumo del compresor frente la temperatura de salida del agua, para distintas temperaturas del aire exterior.

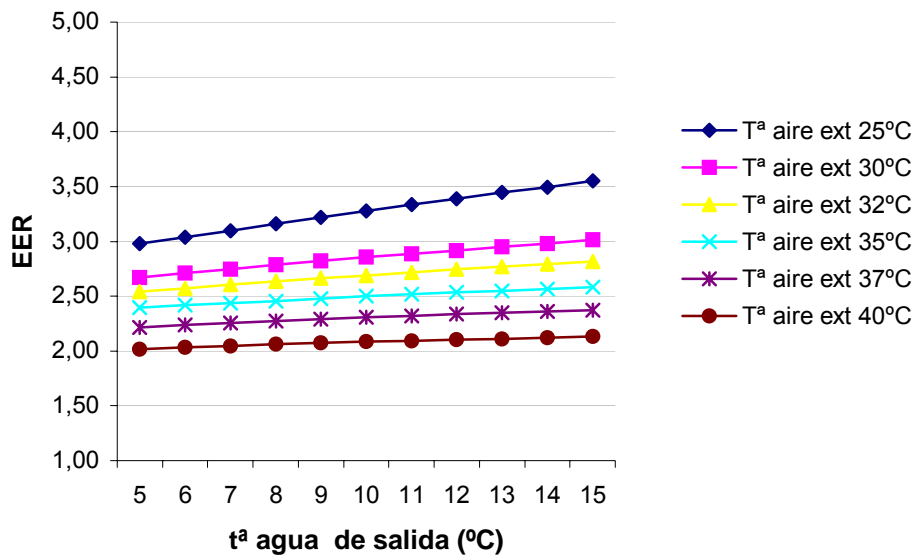


figura 4.53: EER frente la temperatura de salida del agua, para distintas temperaturas del aire exterior.

Los valores de las tasas de variación son:

Temperatura del aire exterior (°C)	Tasa de variación de la potencia frigorífica (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la potencia frigorífica (%/°C)	Tasa de Variación del consumo del compresor (kW/°C)	Tasa de variación porcentual del Consumo del compresor (%/°C)	Tasa de Variación del EER (1/°C)	Tasa de variación porcentual del EER (%/°C)
25	3,31	3,12	0,33	0,76	0,06	2,42
30	3,32	3,13	0,65	1,49	0,03	1,21
32	3,31	3,12	0,78	1,79	0,03	1,21
35	3,31	3,12	0,98	2,25	0,02	0,81
37	3,31	3,12	1,11	2,55	0,02	0,81
40	3,31	3,12	1,31	3,01	0,01	0,40
Valor medio de la tasa de variación	3,312	3,124	0,86	1,98	0,03	1,14

Tabla 4.16: Tasas de variación para la Potencia frigorífica, consumo del compresor y EER, respecto la temperatura del aire exterior.

De la interpretación de las tasas de variación anteriores se obtiene que se gana aproximadamente 3.312 kW de Potencia frigorífica y el consumo del compresor aumenta en 0.86 kW por cada °C que aumente la temperatura de salida del agua. De las tasas de variación porcentuales se tiene que la potencia frigorífica aumenta en 3.124%, el consumo del compresor en 1.98% y el EER un 1.14%, sobre sus valores nominales, por cada °C que aumente la temperatura de salida del agua.

Ahora, se representan los mismos parámetros anteriores respecto la temperatura del aire de entrada, para distintas temperaturas del agua de salida.

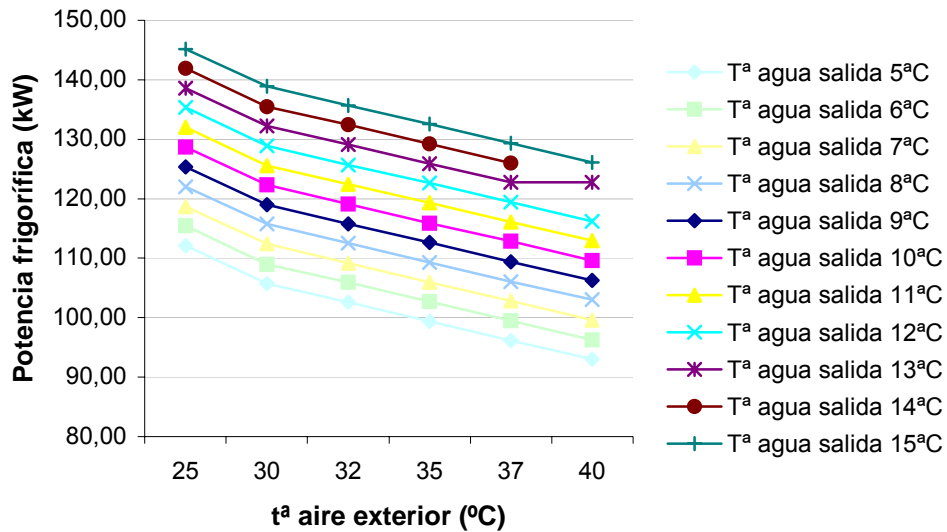


figura 4.54: Potencia frigorífica frente la temperatura de entrada de aire, para distintas temperaturas de salida del agua.

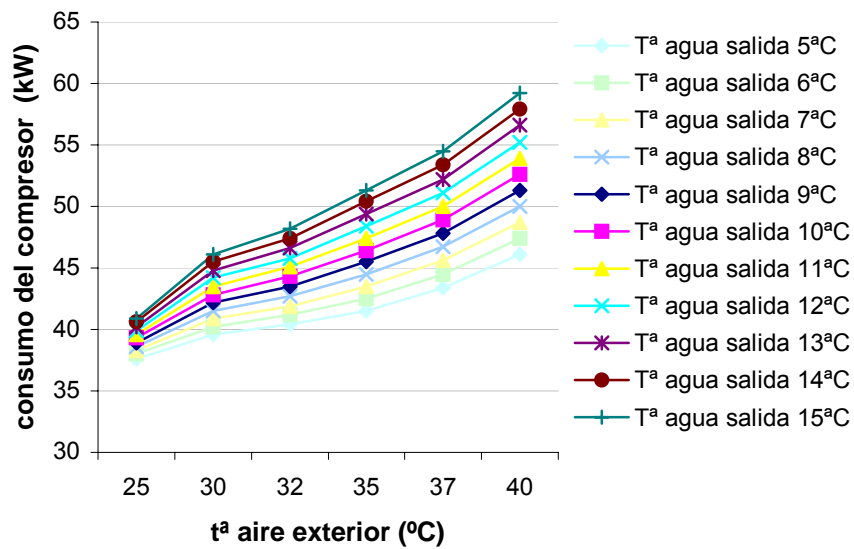


figura 4.55: Consumo del compresor frente la temperatura de entrada de aire, para distintas temperaturas de salida del agua.

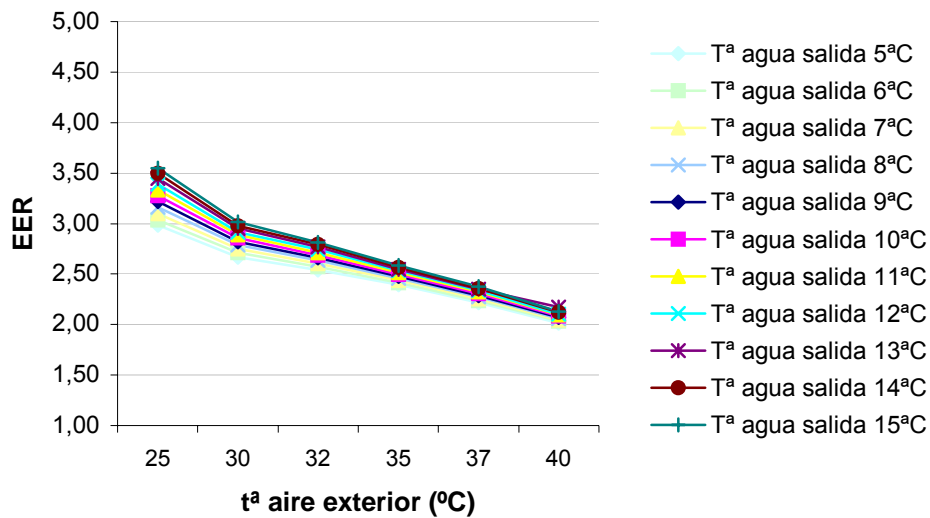


figura 4.56: EER frente la temperatura de entrada de aire, para distintas temperaturas de salida del agua.

La tabla de las tasas de variación quedan:

Temperatura del Agua de salida (°C)	Tasa de variación de la potencia frigorífica (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la potencia frigorífica (%/°C)	Tasa de Variación del consumo del compresor (kW/°C)	Tasa de variación porcentual del Consumo del compresor (%/°C)	Tasa de Variación del EER (1/°C)	Tasa de variación porcentual del EER (%/°C)
5	-1,31	-1,24	0,6	1,38	-0,07	-2,88
6	-1,31	-1,24	0,67	1,54	-0,07	-2,88
7	-1,32	-1,25	0,73	1,68	-0,07	-2,88
8	-1,31	-1,24	0,8	1,84	-0,07	-2,88
9	-1,31	-1,24	0,86	1,98	-0,08	-3,29
10	-1,31	-1,24	0,93	2,14	-0,08	-3,29
11	-1,32	-1,25	0,99	2,28	-0,08	-3,29
12	-1,32	-1,25	1,05	2,41	-0,09	-3,70
13	-1,31	-1,24	1,12	2,57	-0,08	-3,29
15	-1,31	-1,24	1,19	2,74	-0,09	-3,70
15	-1,32	-1,25	1,26	2,90	-0,09	-3,70
Valor medio de la tasa de variación	-1,31	-1,24	0,93	2,13	-0,08	-3,25

Tabla 4.17: Tasas de variación para la Potencia frigorífica, consumo del compresor y EER respecto la temperatura del agua de salida.

De la interpretación de las tasas de variación anteriores se obtiene que se pierde aproximadamente 1.31 kW de Potencia frigorífica y el consumo del compresor aumenta en 0.93 kW por cada °C que aumente la temperatura de entrada del aire exterior. De las tasas de variación porcentuales se tiene que la potencia frigorífica disminuye un 1.24%, el consumo del compresor aumenta un 2.13% y el EER disminuye un 3.25%, sobre sus valores nominales, por cada °C que aumente la temperatura de entrada del aire exterior.

Funcionando en calefacción:

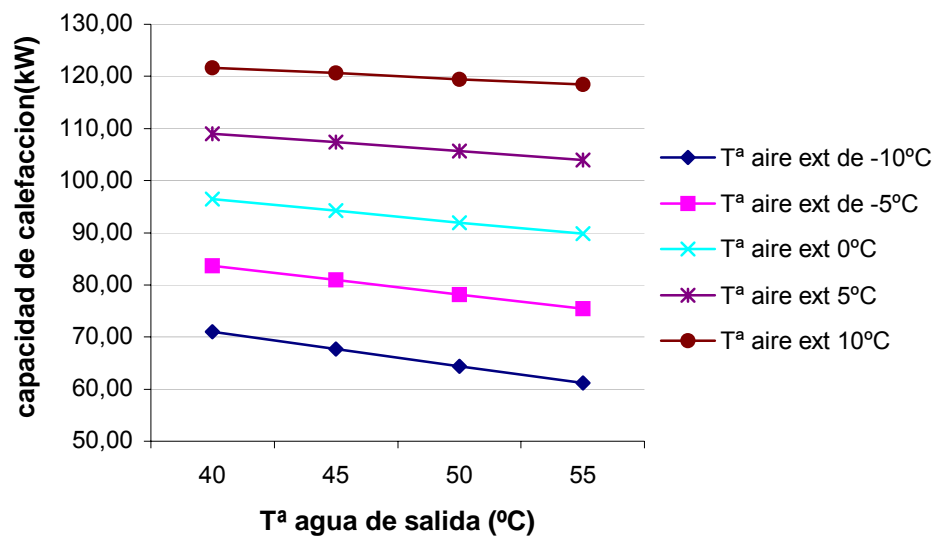


figura 4.57: Capacidad de calefacción frente a temperatura de salida del agua, para distintas temperaturas del aire exterior.

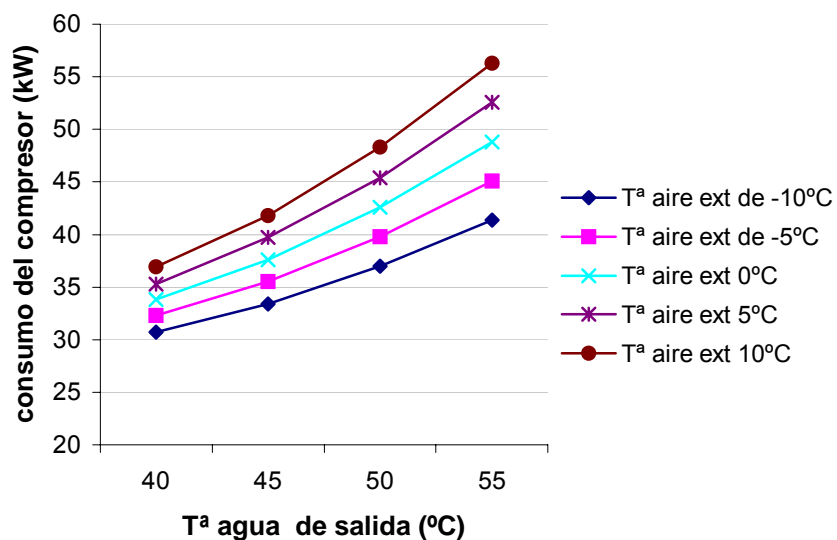


figura 4.58: Consumo del compresor frente la temperatura de salida del agua, para distintas temperaturas del aire exterior.

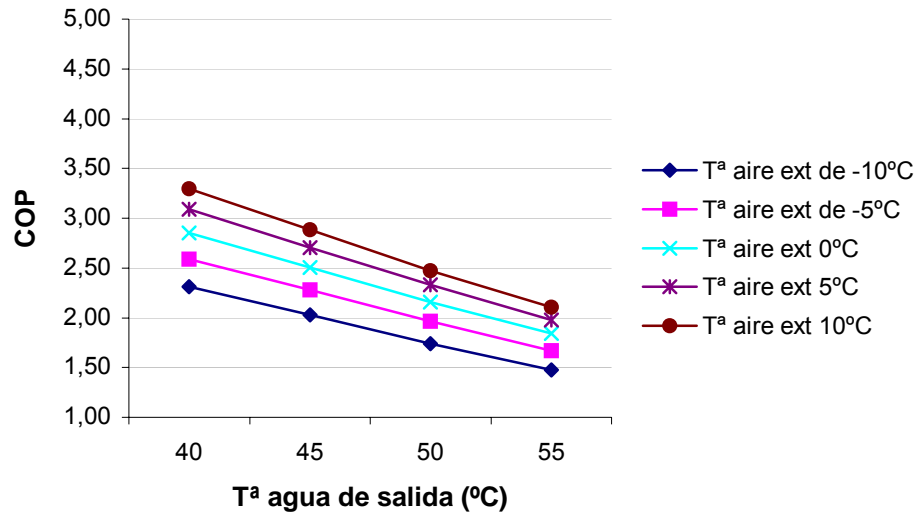


figura 4.59: COP frente la temperatura de salida del agua, para distintas temperaturas del aire exterior.

Las tasas de variación en el caso de calefacción, son:

Temperatura del aire exterior (°C)	Tasa de variación de la capacidad calorífica (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la capacidad calorífica (%/°C)	Tasa de Variación del consumo del compresor (kW/°C)	Tasa de variación porcentual del Consumo del compresor (%/°C)	Tasa de Variación del COP (1/°C)	Tasa de variación porcentual del COP (%/°C)
-10	-0,65	-0,59	0,71	1,79	-0,06	-2,17
-5	-0,55	-0,50	0,85	2,14	-0,06	-2,17
0	-0,44	-0,40	1,00	2,52	-0,07	-2,53
5	-0,33	-0,30	1,15	2,90	-0,07	-2,53
10	-0,21	-0,19	1,29	3,25	-0,08	-2,89
Valor medio de la tasa de variación	-0,44	-0,40	1,00	2,52	-0,07	-2,45

Tabla 4.18: Tasas de variación para Capacidad de Calefacción, consumo del compresor y COP, respecto la temperatura del aire exterior.

De la interpretación de las tasas de variación anteriores se obtiene que se pierde aproximadamente 0.44 kW de Capacidad de calefacción y el consumo del compresor aumenta en 1.00 kW por cada °C que aumente la temperatura de salida del agua. De las tasas de variación porcentuales se tiene que la capacidad de calefacción disminuye

0.40%, el consumo del compresor aumenta un 2.52% y el EER disminuye un 2.45% sobre sus valores nominales, por cada °C que aumente la temperatura de salida del agua.

La representación respecto la temperatura del aire a la entrada, queda:

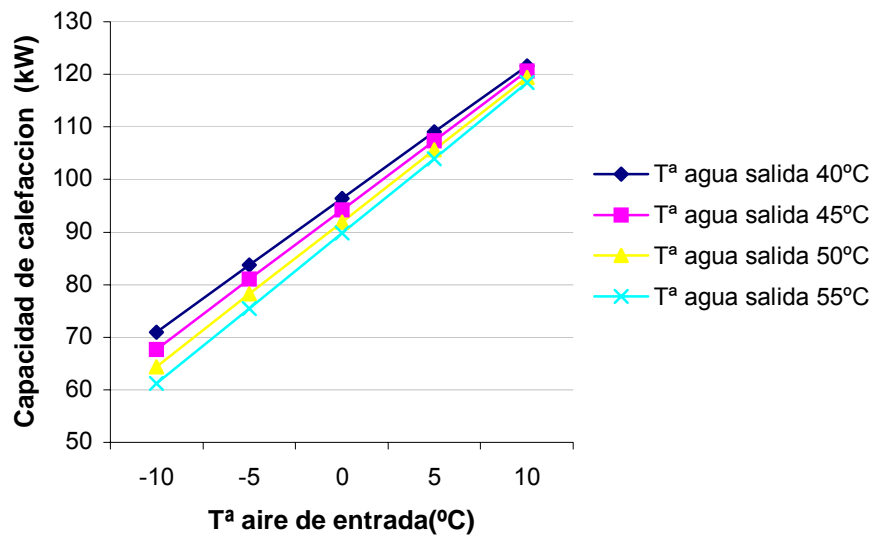


figura 4.60: Capacidad de calefacción frente la temperatura de entrada del aire, para distintos valores de temperatura de entrada de agua.

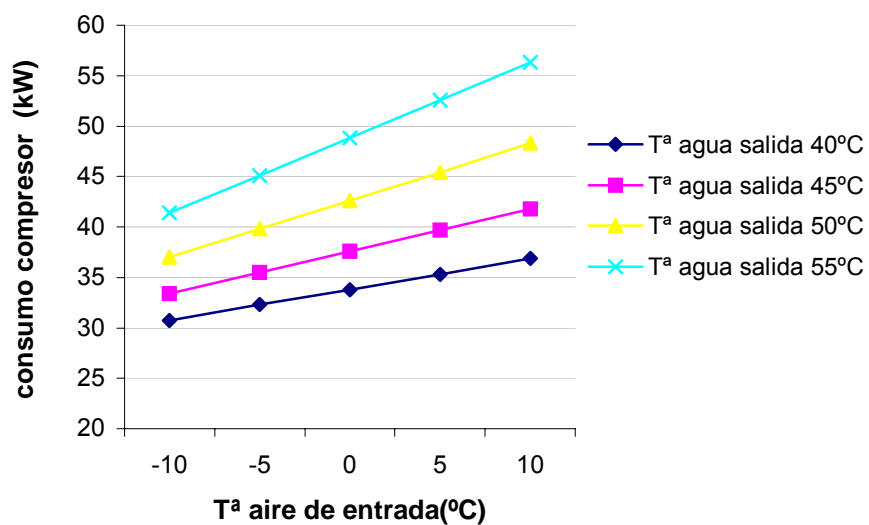


figura 4.61: Consumo del compresor frente la temperatura de entrada del aire, para distintos valores de temperatura de entrada de agua.

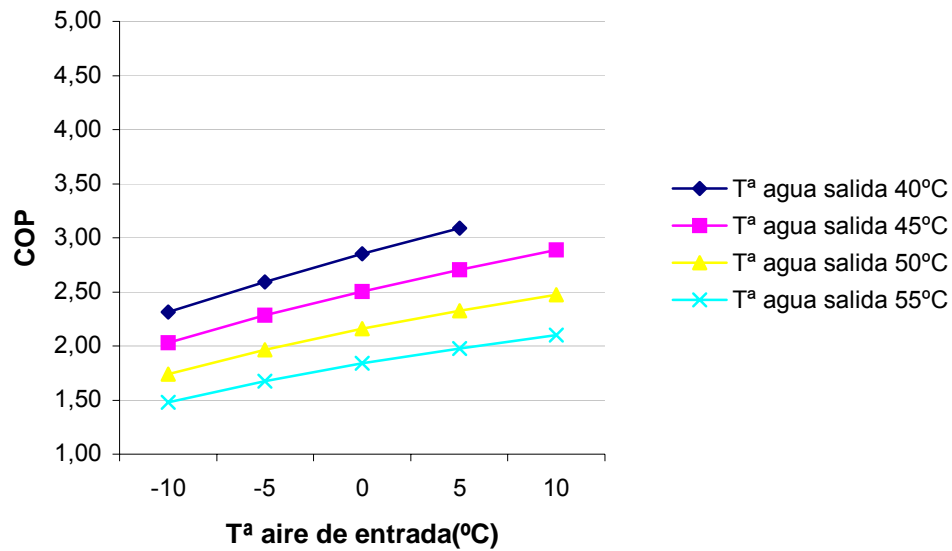


figura 4.62: COP frente la temperatura de entrada del aire, para distintos valores de temperatura de entrada de agua.

La tabla de las tasas de variación quedan:

Temperatura del Agua de salida (°C)	Tasa de variación de la capacidad calorífica (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la capacidad calorífica (%/°C)	Tasa de Variación del consumo del compresor (kW/°C)	Tasa de variación porcentual del Consumo del compresor (%/°C)	Tasa de Variación del COP (1/°C)	Tasa de variación porcentual del COP (%/°C)
40	2,53	2,30	0,31	0,78	0,05	1,81
45	2,65	2,41	0,42	1,06	0,04	1,44
50	2,75	2,50	0,57	1,44	0,04	1,44
55	2,86	2,60	0,75	1,89	0,03	1,08
Valor medio de la tasa de variación	2,70	2,45	0,51	1,29	0,04	1,44

Tabla 4.19: Tasas de variación para la Capacidad de calefacción, consumo del compresor y COP respecto la temperatura del agua de salida.

De la interpretación de las tasas de variación anteriores se obtiene que se gana aproximadamente 2.70 kW de Capacidad de calefacción y el consumo del compresor aumenta en 0.51 kW por cada °C que aumente la temperatura de entrada del aire exterior. De las tasas de variación porcentuales se tiene que la capacidad de calefacción aumenta en 2.45%, el consumo del compresor en 1.29% y el EER un 1.44%, sobre sus valores nominales, por cada °C que aumente la temperatura de salida del agua.

4.5. Resultados y comparación de datos

Para poder analizar mejor los datos obtenidos en los apartados anteriores se presentan a continuación las tasas de variación porcentuales que se obtienen al aumentar un °C las temperaturas de salida del agua o de entrada del aire.

Estos valores representan el tanto por ciento que aumenta la potencia frigorífica sobre su valor nominal al aumentar un °C la temperatura de salida del agua. El valor nominal de Carrier era 108 kW, el de Daikin era 93.6 kW, y el de Hitachi era 106kW.

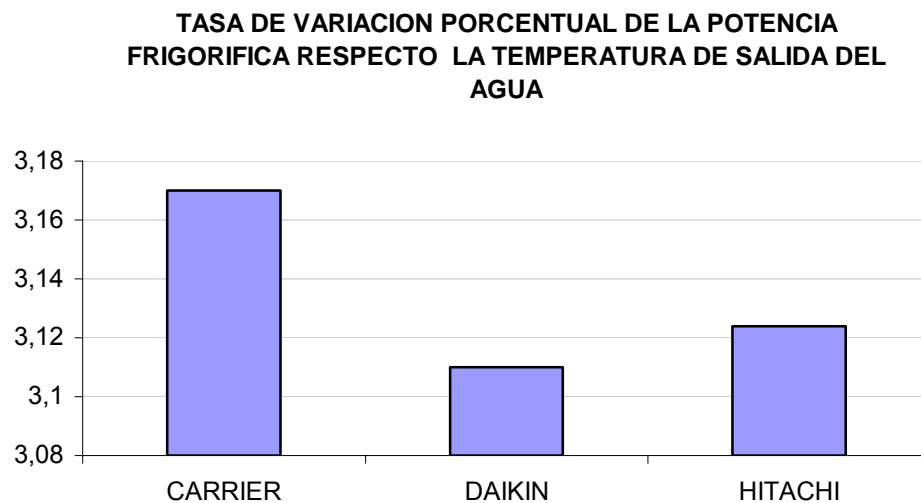


figura 4.63: Representación de la tasa de variación de la potencia frigorífica respecto a la temperatura de salida del agua.

Ahora se estudia la potencia frigorífica respecto variación de temperatura del aire de entrada. En este caso los porcentajes no serán de aumento sino disminuirán al aumentar la temperatura del aire de entrada.

TASA DE VARIACION PORCENTUAL DE LA POTENCIA FRIGORIFICA RESPECTO A LA TEMPERATURA DEL AIRE A LA ENTRADA

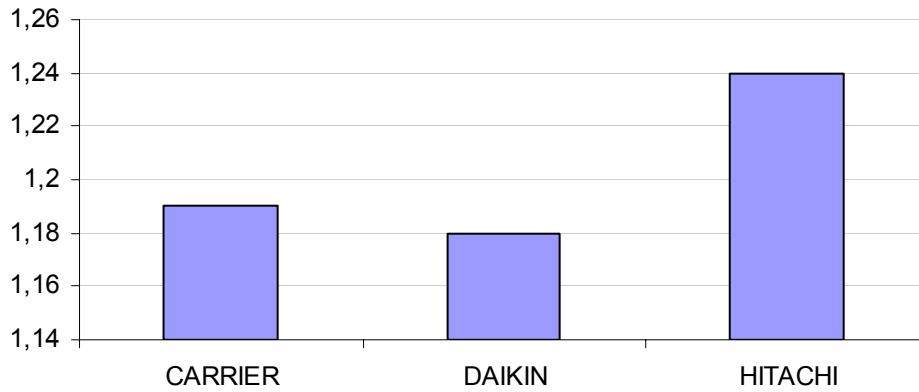


figura 4.64: Representación de la tasa de variación de la potencia frigorífica respecto la temperatura del aire a la entrada.

Igual que se hacía con la potencia frigorífica se hace con el consumo del compresor, los valores nominales sobre los que se ha tomado los porcentajes, son: en Carrier 39.8kW, en Daikin 35.9 kW y en Hitachi 43.5 kW. En este caso los porcentajes aumentarán el consumo del compresor al aumentar la temperatura de salida del agua y la entrada del aire.

TASA DE VARIACION PORCENTUAL DEL CONSUMO DEL COMPRESOR EN REFRIGERACION RESPECTO LA TEMPERATURA DEL AGUA A LA SALIDA

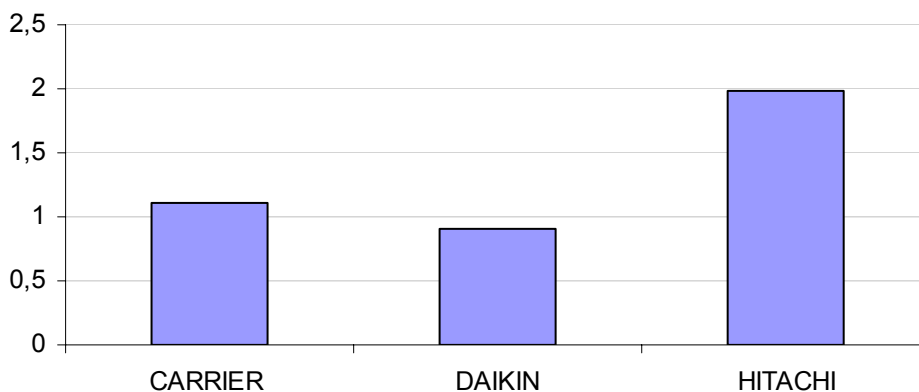


figura 4.65: Representación la tasa de variación del compresor en respecto la temperatura del agua a la salida

TASA DE VARIACION PORCENTUAL DEL CONSUMO DEL COMPRESOR EN REFRIGERACION RESPECTO LA TEMPERATURA DEL AIRE A LA ENTRADA

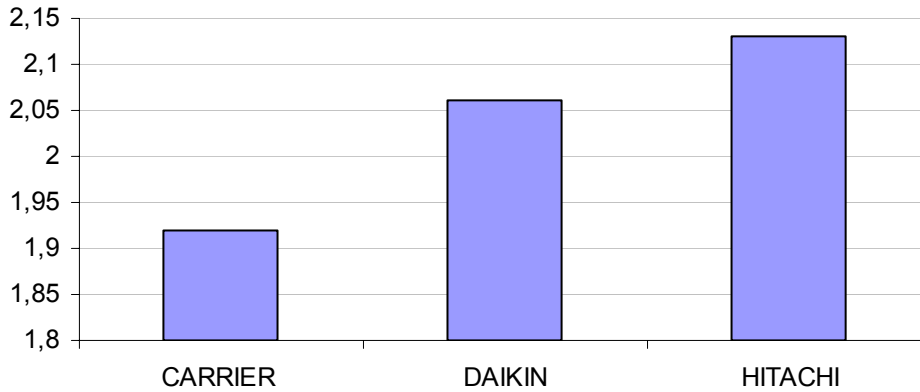


figura 4.66: Representación la tasa de variación del compresor en refrigeración respecto la temperatura del aire a la entrada.

Lo más interesante quizás sea el estudio del EER, este EER como ya se indicó, no se corresponde con el EER que certifica Eurovent, ya que no se tienen datos para hallarlo, pero será parecido. El EER, presenta los siguientes porcentajes de aumento sobre sus valores nominales por cada °C que aumente la temperatura de salida del agua. Los valores nominales de EER que se han considerado, son: en Carrier 2.71, en Daikin 2.6 y en Hitachi 2.43.

TASA DE VARIACION PORCENTUAL DEL EER RESPECTO LA TEMPERATURA DE SALIDA DEL AGUA

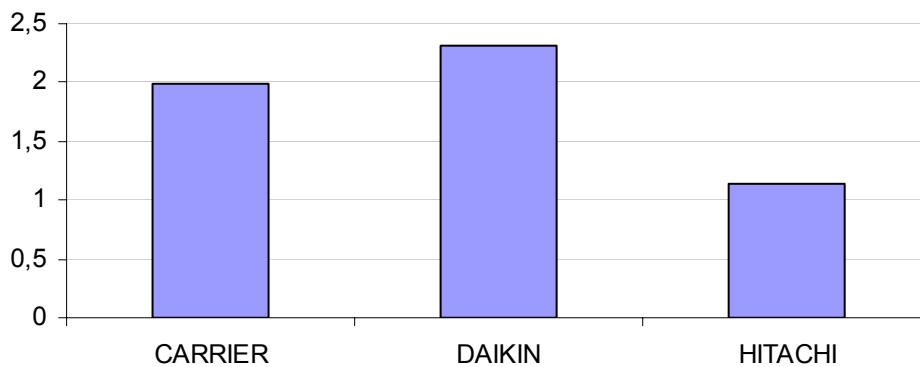


figura 4.67: Representación de las tasas de variación del EER respecto la temperatura de agua de salida.

Para una temperatura exterior de 35°C, se ve a continuación la evolución del EER/EERnominal. Esto lo que nos representa es cual de las enfriadoras fuera de las condiciones nominales interesará más, ya que dependiendo si se necesita una temperatura de salida mayor o menor de 7°C, la enfriadoras aumentan más o menos el EER sobre su valor nominal. Así, si se va a trabajar con una temperatura de salida del agua de más de 7°C, interesará más la enfriadora de Daikin y de Carrier, y si se va a trabajar a una temperatura inferior a 7°C, interesa la enfriadora más la enfriadora de Hitachi.

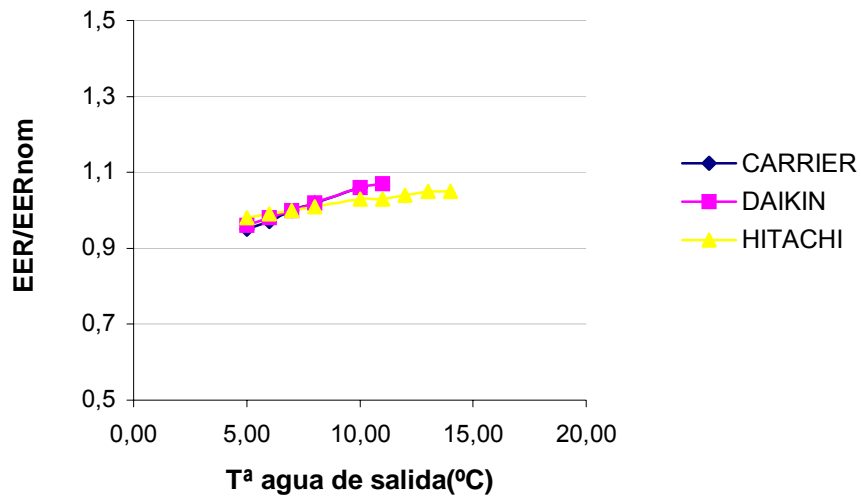


figura 4.68: EER/EERnominal frente la temperatura de salida del agua

Las tasas de variación del EER respecto la temperatura del aire de entrada se dan a continuación. Estas tasas son de disminución al aumentar la temperatura del aire a la entrada.

TASA DE VARIACION PORCENTUAL DEL EER RESPECTO LA TEMPERATURA DEL AIRE A LA ENTRADA

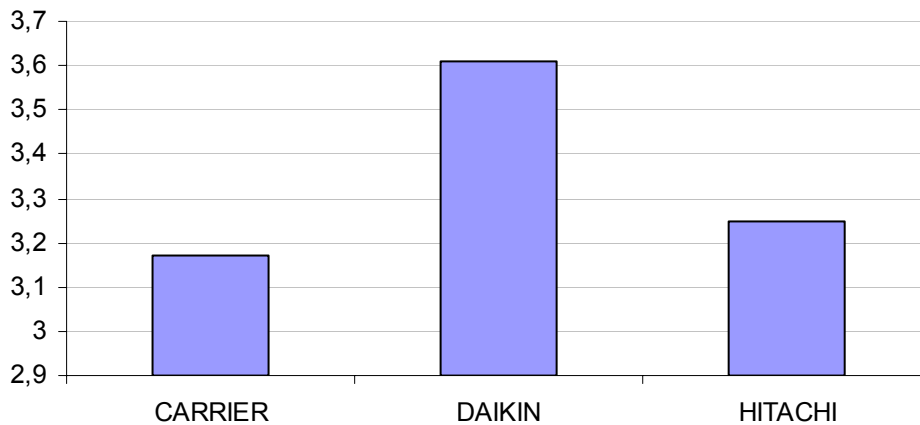


figura 4.69: Representación de las tasas de variación del EER respecto la temperatura del aire de entrada

El siguiente gráfico se ha representado EER/EERnom para una temperatura de salida del agua a 7°C.

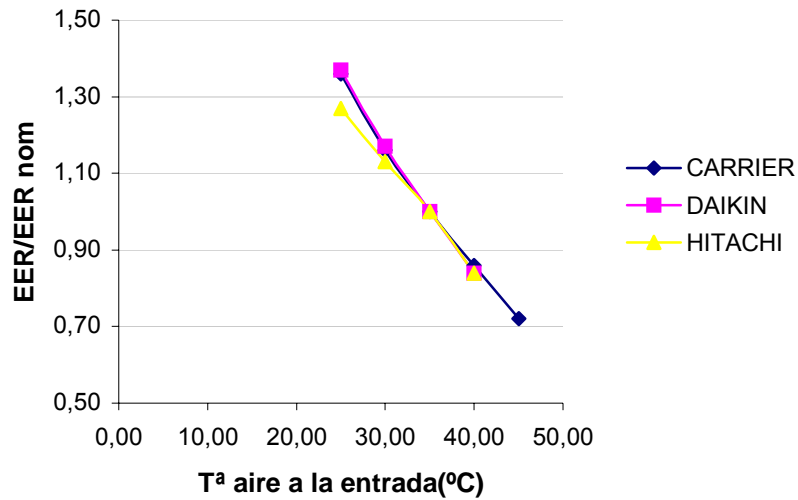


figura 4.70: EER/EERnominal frente la temperatura del aira a la entrada

En calefacción, se va a hacer el mismo estudio. Los valores nominales sobre los que se halla los porcentajes, son: en Carrier 117kW, en Daikin 96.3 y en Hitachi 110kW. Respecto la temperatura de salida del agua los porcentajes son de disminución y respecto la temperatura de entrada del aire son de aumento.

TASA DE VARIACION PORCENTUAL DE LA CAPACIDAD CALORIFICA RESPECTO LA TEMPERATURA DEL AGUA A LA SALIDA

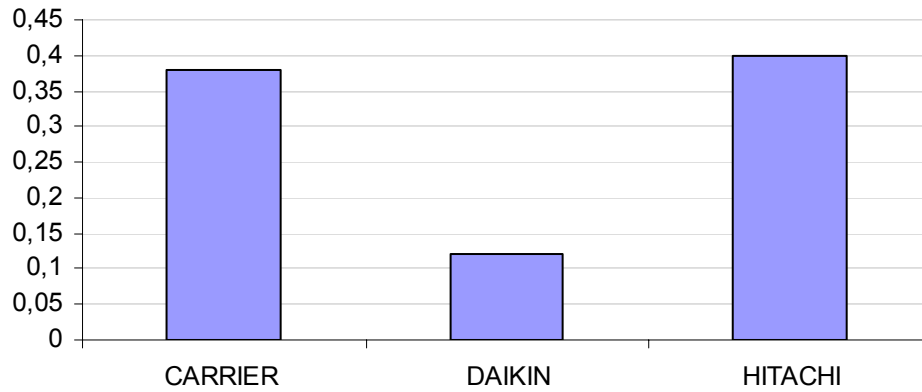


figura 4.71: Representación de la tasa de variación de la capacidad de calefacción respecto a la temperatura de salida del agua.

TASA DE VARIACION PORCENTUAL DE LA CAPACIDAD CALORIFICA RESPECTO LA TEMPERATURA DEL AIRE A LA ENTRADA

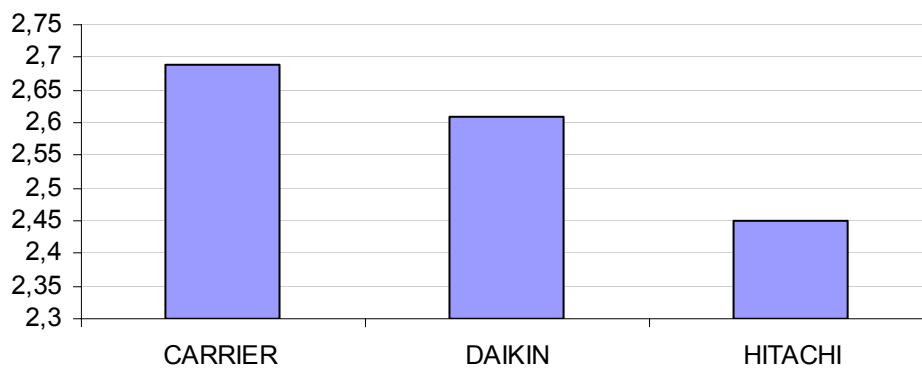


figura 4.72: Representación de la tasa de variación de la capacidad calorífica respecto la temperatura del aire a la entrada.

En los consumos, los valores nominales sobre los que se halla los porcentajes, son: en Carrier 40.7 kW, en Daikin 34.9 kW y en Hitachi 39.7 kW. Estos porcentajes son de aumento al aumentar la temperatura de salida del agua y la temperatura del aire a la entrada.

TASA DE VARIACION PORCENTUAL DEL CONSUMO DEL COMPRESOR EN CALEFACCION RESPECTO A LA TEMPERATURA DEL AGUA DE SALIDA

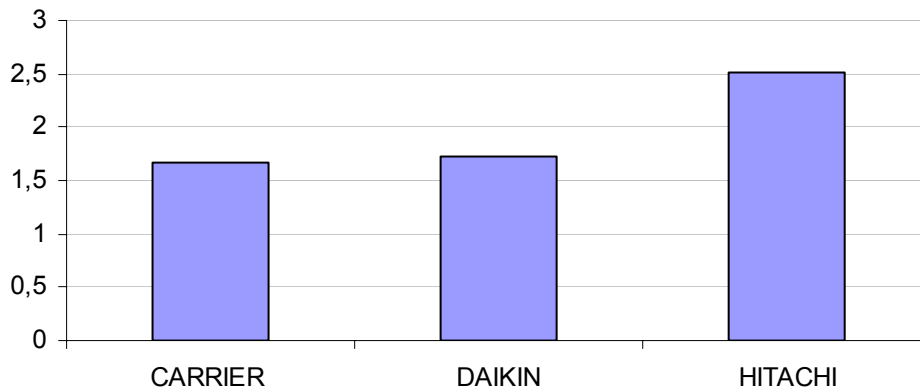


figura 4.73: Representación la tasa de variación del compresor en calefacción para las distintas marcas, respecto la temperatura de salida del agua.

TASA DE VARIACION PORCENTUAL DEL CONSUMO DEL COMPRESOR EN CALEFACCION RESPECTO LA TEMPERATURA DEL AIRE A LA ENTRADA

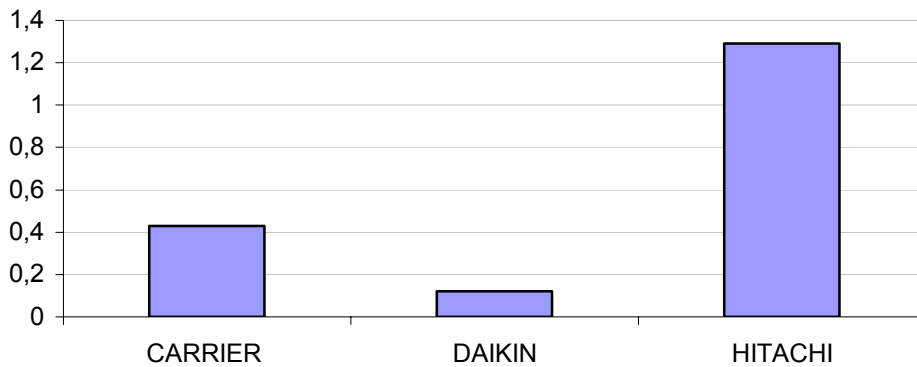


figura 4.74: Representación la tasa de variación del compresor en calefacción para las distintas marcas, respecto la temperatura a la entrada.

Igual que se hizo con el EER, ahora se representa el COP. Los valores nominales del COP son: 2.87 para Carrier, 2.76 para Daikin y 2.77 para Hitachi. El COP disminuye con la temperatura del agua a la salida y aumenta con la temperatura del aire a la entrada.

TASA DE VARIACION PORCENTUAL DEL COP RESPECTO LA TEMPERATURA DEL AGUA A LA SALIDA

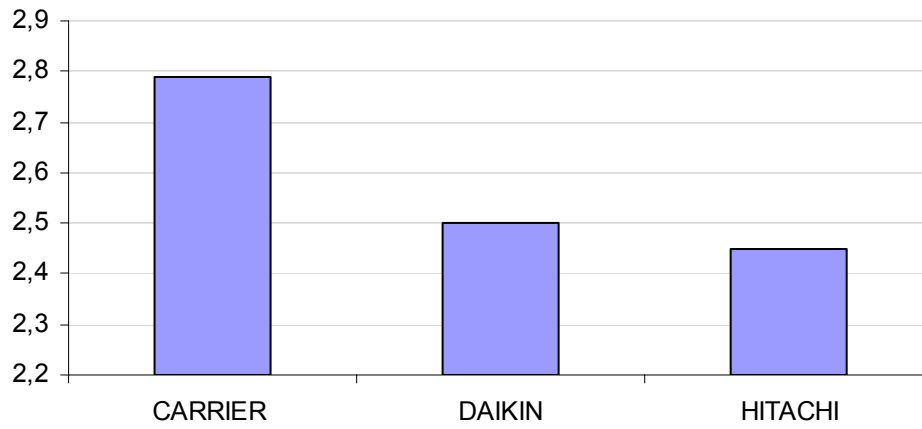


figura 4.75: Representación COP respecto la temperatura del agua a la salida.

TASA DE VARIACION PORCENTUAL DEL COP RESPECTO LA TEMPERATURA DEL AIRE A LA ENTRADA

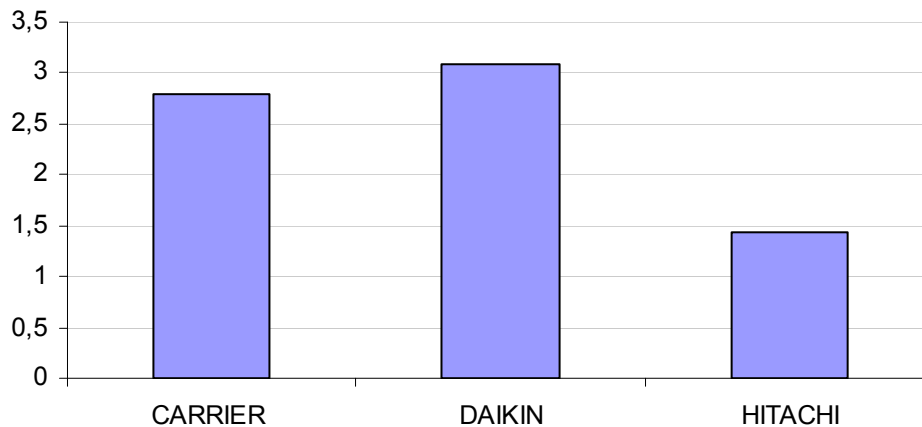


figura 4.76: Representación COP respecto la temperatura del aire a la entrada.

A continuación se representan las tendencias del COP/COPnom con la temperatura de salida del agua para una temperatura del aire a la entrada de 7°C, y la variación con la temperatura del aire a la entrada para una temperatura de salida del agua de 45°C.

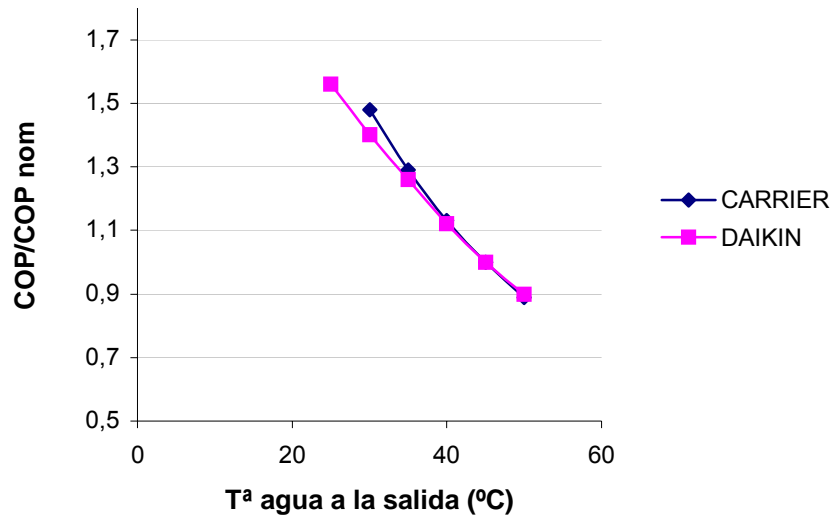


Figura 4.77: COP/COPnom frente la temperatura de salida del agua

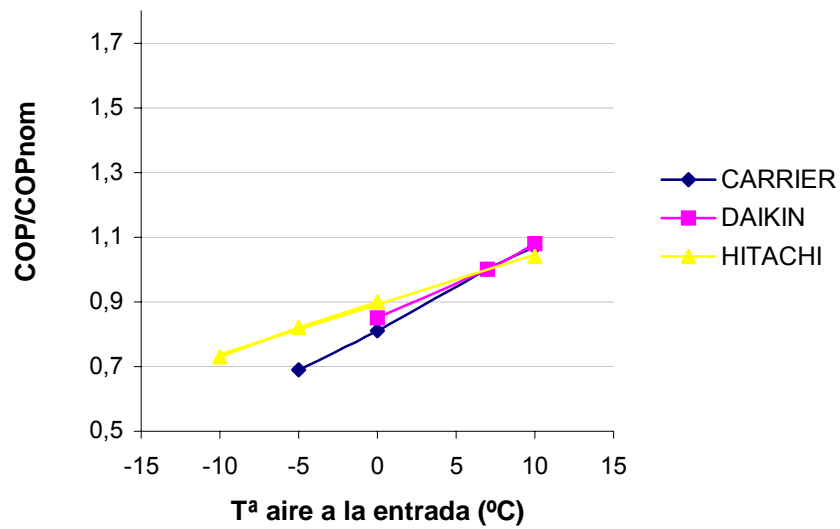


Figura 4.78: COP/COPnom frente la temperatura del aire de entrada

5. EQUIPOS AUTÓNOMOS REVERSIBLES

Estos equipos autónomos son bombas de calor ya que tienen uso tanto para calefacción como para refrigeración. Pueden estar condensados por aire o por agua y según el modelo de unidad interior que tenga pueden ser de pared, suelo-techo, conductos y cassette.

Su uso es a nivel doméstico o para la climatización de establecimientos mayores. Algunos de estos equipos combinando varias unidades interiores con una sola unidad exterior formaran los equipos Multi-Split.

En el Anexo, se hace una recopilación de los equipos autónomos reversibles que presentan las marcas Carrier, Daikin e Hitachi. Las características principales que se recogen, son:

- Equipo autónomo reversible condensado por agua:
 - Nombre comercial
 - Fabricante
 - Refrigerante
 - Capacidad frigorífica del catálogo
 - Capacidad calorífica del catálogo
 - Tipo de compresor
 - Caudal de aire y caudal de agua
 - Consumo de la unidad

- Equipo autónomo reversible condensado por aire:
 - Nombre comercial.
 - Fabricante.
 - Refrigerante.
 - Clase de eficiencia energética en refrigeración y climatización.
 - Capacidad frigorífica del catálogo.
 - Capacidad calorífica del catálogo.
 - Tipo de compresor.

- Caudal de aire.
- Consumo de la unidad en refrigeración y calefacción.
- EER y COP.

Este estudio que se hace a continuación se centra en los equipos autónomos reversibles condensados por aire.

En estos equipos se usan refrigerantes R-407c y R-410a, la mayoría de los compresores son rotativos y muchos de ellos incorporan tecnología inverter. Se representan a continuación algunos de estos porcentajes para cada marca.

- *Carrier*

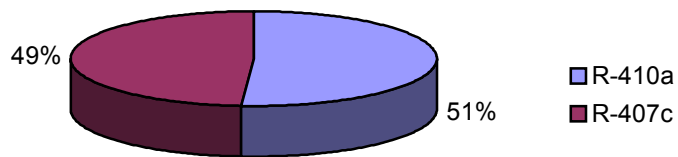


figura 5.1: Porcentajes del uso de los refrigerantes de Carrier en equipos autónomos reversibles condensados por aire.

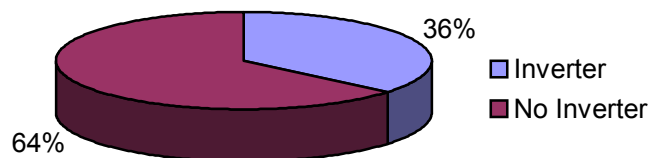


figura 5.2: Porcentajes del uso de la tecnología inverter en equipos autónomos reversibles condensados por aire de Carrier.

- Daikin

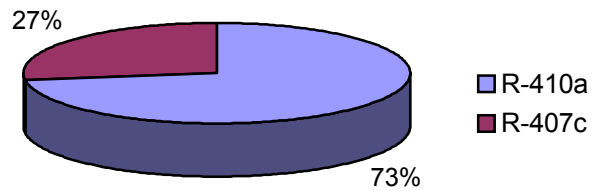


figura 5.3: Porcentajes del uso de los refrigerantes de Daikin en equipos autónomos reversibles condensados por aire.

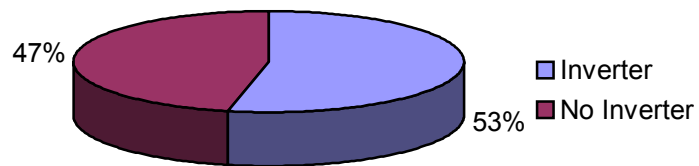


figura 5.4: Porcentajes del uso de la tecnología inverter en equipos autónomos reversibles condensados por aire de Daikin.

- Hitachi

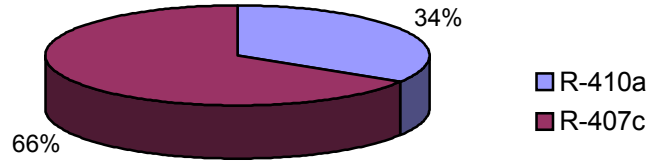


figura 5.5: Porcentajes del uso de los refrigerantes de Hitachi en equipos autónomos reversibles condensados por aire.

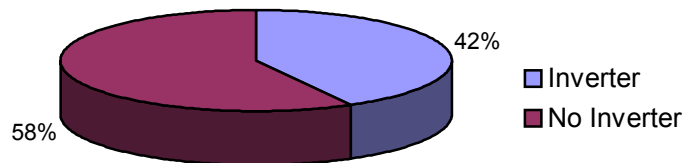


figura 5.6: Porcentajes del uso de la tecnología inverter en equipos autónomos reversibles condensados por aire de Hitachi.

Las potencias frigoríficas y las capacidades de calefacción que comprenden cada uno de estos tipos de equipos se dan en la siguiente tabla y se representan en el gráfico.

Modelo	Potencia frigorífica mínima (kW)	Potencia frigorífica máxima (kW)	Capacidad de calefacción mínima (kW)	Capacidad de calefacción máxima (kW)
Carrier tipo pared	2,28	6,5	2,33	7,6
Carrier tipo suelo techo	2,62	14,9	2,94	14,68
Carrier tipo conductos	2,64	112	3,2	112,5
Carrier tipo cassette	3,52	13,68	3,78	13,24
Daikin tipo pared	2,5	7,1	3	8,5
Daikin tipo suelo techo	2,5	12,5	3,4	14
Daikin tipo conductos	2,4	25	3,2	27
Daikin tipo cassette	2,5	12,2	3,2	14,6
Hitachi tipo pared	2,5	7,9	3,5	8,9
Hitachi tipo suelo techo	2,5	14	3,9	16,7
Hitachi tipo conductos	2,5	25	3,8	28
Hitachi tipo cassette	5	14	6	16,7

Tabla 5.1: Tabla de las potencias frigoríficas y caloríficas de cada tipo de equipo reversible condensado por aire.

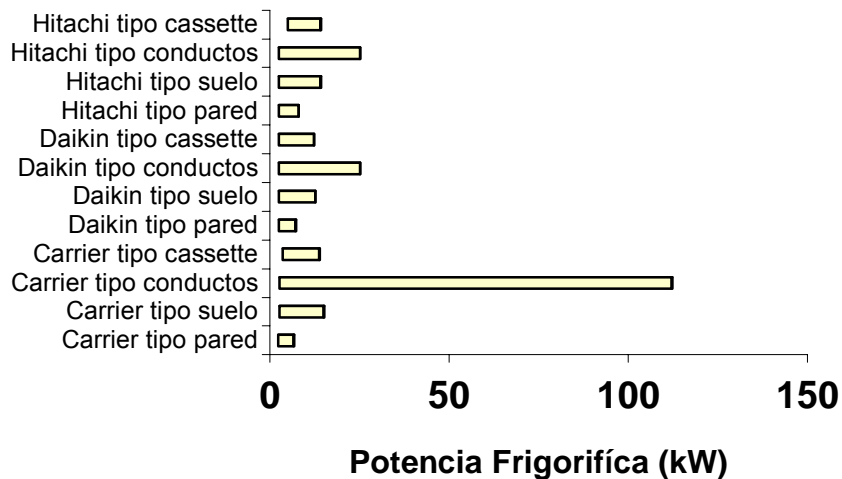


figura 5.7: Gráfico de las potencias frigoríficas y caloríficas de cada tipo de equipo reversible condensado por aire.

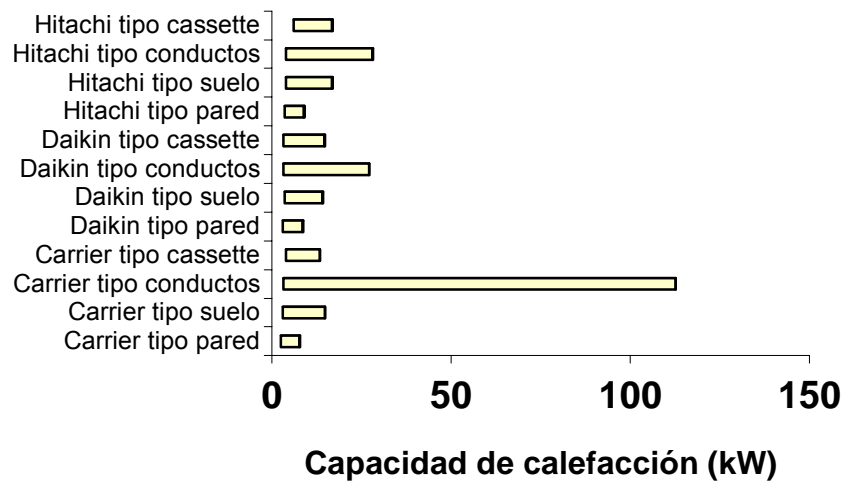


figura 5.8: Gráfico de las potencias caloríficas de cada tipo de equipo reversible condensado por aire.

5.1. Equipos autónomos reversibles condensados por aire de 12 kW

5.1.1. Casos estudiados

Los equipos a los que se ha realizado el estudio se citan a continuación:

- Equipo autónomo compacto de conductos 50YZ048 de Carrier con una potencia frigorífica de 11.56 kW.
- Equipo autónomo partido de conductos FHYBP125B (unidad interior) y RYP125L7 (unidad exterior) de Daikin con una potencia frigorífica de 12.2 kW.
- Equipo autónomo partido de conductos RPI5HG7E(unidad interior) y RAS5HG7E (unidad exterior) de Hitachi con una potencia frigorífica de 12.4 kW.

5.1.2. Datos de los catálogos

5.1.2.1. Catálogo del equipo 50YZ048 de Carrier

Este equipo es un modelo compacto y horizontal para conexión a conductos. Pertenece a la gama 50YZ, la cual tiene siete modelos, que van del 50YZ024(con una capacidad frigorífica nominal de 6.20 kW), hasta el modelo 50YZ084 (con una capacidad frigorífica nominal de 22.50 kW).



figura 5.9: Equipo autónomo reversible condensada por aire 50YZ048

Por orden, se citan a continuación las distintas partes que nos encontramos en el catálogo técnico de Carrier de este equipo:

- Características más señaladas del equipo.
- Sistema de control que usa.
- Datos físicos. Dentro de este apartado da los siguientes datos:
 - Capacidad frigorífica y calorífica nominal para cada modelo, donde las condiciones nominales se refieren a temperatura seca del aire exterior de 35°C y temperatura húmeda del aire interior de 19°C para refrigeración, y temperatura húmeda del aire exterior de 6°C y temperatura seca de aire interior de 20°C.

MODELO	Capacidad frigorífica nominal (kW)	Capacidad calorífica nominal (kW)
024	6.20	6.52
036	8.90	9.50
042	10.10	11.30
048	11.56	12.50
060	14.34	16.84
072	19.10	21.80
084	22.20	25.00

Tabla 5.2: capacidades frigoríficas y caloríficas del equipo autónomo reversible condensado por aire 50YZ de Carrier.

- Peso de la unidad.
- Compresores; el compresor que usa es un compresor hermético alternativo. En este apartado se da el volumen de aceite y el tipo de aceite.
- Carga de refrigerante R-407C (kg).

- Tipo de batería de la unidad interior y exterior (tubos de cobre con aletas de aluminio), área frontal de ésta, el nº de filas y la presión de prueba.
- Datos sobre el ventilador de la batería interior y de la batería exterior: caudal nominal, rango de caudal nominal y presión estática nominal.
- Dimensiones de el filtro de aire.
- Datos eléctricos.
 - Características nominales de tensión y frecuencia, y rango de tensión.
 - Consumos y corrientes nominales en refrigeración y calefacción.
 - Consumos y corrientes efectivas en refrigeración y calefacción.
 - Corriente de arranque.
 - Consumos y corrientes máximos de la unidad en refrigeración y calefacción.
- Dimensiones de la unidad.
- Direcciones de impulsión de aire.
- Áreas de servicio.
- Coordenadas del centro de gravedad.
- Reparto de pesos en los extremos.
- Tablas de capacidades, para funcionamiento en refrigeración y funcionamiento en calefacción.

Las tablas de capacidad de refrigeración, dan para cada modelo y en función de la temperatura de bulbo húmedo del aire a la entrada de la unidad interior y de la temperatura de bulbo seco del aire exterior, la capacidad frigorífica total (CAP) y el consumo del compresor (kW). Se da también la capacidad frigorífica sensible (SHC) en función de la temperatura de bulbo húmedo y bulbo seco del aire a la entrada de la unidad interior y de la temperatura de bulbo seco del aire exterior.

Se ofrece, a parte, factores de corrección de la potencia frigorífica, capacidad sensible y consumo del compresor para el caso de que el caudal no fuese el caudal nominal de aire.

modelo → **50YZ024 (40BZ024/38BZ024) Caudal de aire 400 l/s**

Ewb °C	Edb °C		Temperatura bulbo seco del aire exterior °C				
			25	30	35	40	46
15		CAP	6,11	5,68	5,10	4,63	3,91
		KW	1,85	1,91	1,99	2,07	2,28
		SHC	3,05	2,67	2,29	2,19	1,81
		SHC	3,86	3,48	3,10	2,72	2,53
		SHC	4,77	4,39	4,01	3,63	3,43
17	21	CAP	6,53	6,11	5,63	5,15	4,39
		KW	1,93	1,99	2,07	2,15	2,35
		SHC	3,34	2,96	2,58	2,43	2,00

Temperatura interior de bulbo húmedo →

Temperatura interior de bulbo seco →

figura 5.10: Tablas de capacidades frigoríficas

Las tablas de capacidades caloríficas, dan para cada modelo y en función de la temperatura de bulbo seco del aire interior y de la temperatura de bulbo húmedo del aire exterior la capacidad calorífica instantánea (CAP), el coeficiente de eficiencia energética (COP) y el consumo efectivo total(kW).

modelo → **50YZ
40BZ
+
38BZ**

l/s	Edb °C	Temperatura bulbo húmedo del aire exterior °C										
		-15		-10		-5		0				
		CAP	kW	COP	CAP	kW	COP	CAP	kW	COP	CAP	kW
024 → 400	18	3,26	1,75	1,87	3,70	1,82	2,03	4,48	1,99	2,25	5,00	2,00
	20	3,13	1,80	1,74	3,52	1,89	1,86	4,35	2,72	1,60	4,87	2,03
	24	2,91	2,44	1,20	3,35	2,54	1,32	4,13	2,05	2,01	4,65	2,25
036 → 565	18	3,81	2,78	1,37	4,80	2,90	1,65	6,44	2,96	2,18	8,09	3,11
	20	3,62	2,83	1,28	4,61	2,95	1,56	6,25	2,95	2,12	7,90	3,13
	24	3,39	2,93	1,16	4,37	3,04	1,44	5,93	3,06	1,94	7,57	3,15
042 → 670	18	5,70	3,15	1,81	6,70	3,30	2,03	8,32	3,36	2,47	10,04	3,51

Temperatura interior de bulbo seco →

Caudal de aire →

figura 5.11: Tablas de capacidades caloríficas

En calefacción existe la opción de calcular la capacidad calorífica integrada y el COP correspondiente a esta capacidad calorífica integrada, a través de un factor de corrección aplicado a la capacidad calorífica instantánea y al COP. También se dan factores de corrección de la capacidad calorífica, el COP y el consumo en caso de que el caudal de aire no fuese el nominal .

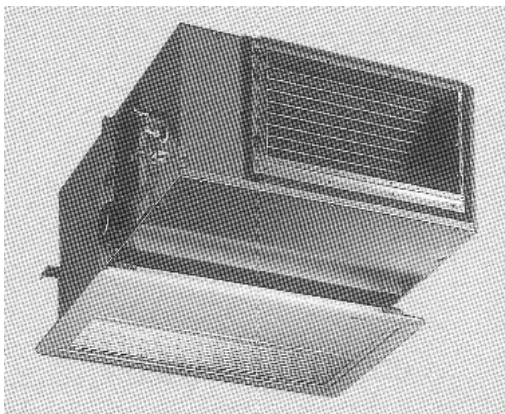
- Límites de funcionamiento: en refrigeración y calefacción se da la temperatura mínima y máxima de bulbo seco y bulbo húmedo del aire interior y del aire exterior. En refrigeración la temperatura del aire interior máxima es 35°C b.s y 21°C b.h, y la mínima

es de 19°C b.s y 14°C b.h . En calefacción la temperatura del aire exterior máxima es de 24°C b.s y 18°C b.h y la mínima temperatura del aire exterior es –15°C b.s.

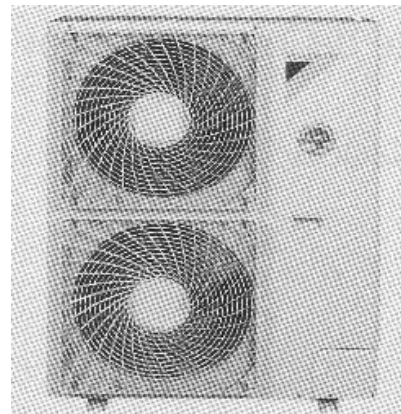
- Opciones y accesorios.
- Curvas de ventilación: Para el ventilador exterior y el interior se proporcionan unos gráficos donde se representan la presión estática disponible y el consumo del ventilador en función del caudal de aire.

5.1.2.2. Catálogo del equipo FHYBP125B + RYP125L7 de Daikin

Este equipo es un modelo tipo split, con unidad interior preparada para conexión a conductos. Esta gama presenta tres modelos, que van del FHYBP71B(con una capacidad frigorífica nominal de 7.10 kW), hasta el modelo FHYBP125B (con una capacidad frigorífica nominal de 12.2 kW).



(a)



(b)

figura 5.12: (a) unidad interior FHYBP125B y (b) unidad exterior RYP125L7 reversible condensada por aire de Daikin.

Por orden, se citan a continuación las distintas partes que nos encontramos en el catálogo técnico de Daikin de este equipo:

- Características más señaladas del equipo.
- Datos físicos. Dentro de este apartado da los siguientes datos:
 - Capacidad frigorífica y calorífica para cada modelo, estas capacidades son totales, donde se ha tenido en cuenta la variación de la capacidad a causa de el calor desprendido por el motor del ventilador interior.

MODELO	Capacidad frigorífica nominal (kW)	Capacidad calorífica nominal (kW)
071	7.10	8
100	10	11.20
125	12.20	14.50

Tabla 5.3: capacidades frigoríficas y caloríficas del equipo autónomo reversible condensado por aire FHYBP+RYPL7.

- Consumo de la unidad en refrigeración y calefacción.
- Valores del EER y COP.
- Etiqueta de eficiencia energética, en refrigeración y calefacción.
- Consumo anual de energía.
- Especificaciones técnicas de la unidad interior:
 - Dimensiones y peso de la unidad interior.
 - Material y color de la unidad interior.
 - Presión acústica en refrigeración y calefacción a nivel alto y bajo.
 - Potencia acústica.
 - Datos sobre el ventilador de la batería interior: caudal de aire alto y bajo, potencia del motor y número.
 - Tipo de batería de la unidad interior, número de filas x etapas x paso de aletas y superficie.
 - Tipo de filtro de aire.
 - Diámetro de las conexiones a las tuberías.
 - Material de aislamiento de la unidad interior.
- Planos de dimensiones de la unidad interior.
- Diagramas de tuberías de la unidad interior.
- Diagramas de cableado de la unidad interior.
- Datos del nivel acústico y gráficos de espectro de presión acústica.
- Accesorios y opciones de la unidad interior.
- Centro de gravedad de la unidad interior.

- Instrucciones de instalación de la unidad interior.
- Especificaciones técnicas de la unidad exterior:
 - Dimensiones, peso, material y color de la unidad exterior.
 - Nivel de presión y potencia acústica de la unidad exterior para refrigeración y calefacción.
 - Datos sobre el ventilador: caudal de aire alto, cantidad y potencia del motor del ventilador.
 - Tipo de batería de la unidad exterior, número de filas x etapas x paso de aletas y superficie.
 - Carga de refrigerante (R-407C), distancia mínima y máxima entre la unidad interior y la unidad exterior, diferencia de nivel máxima permitida, carga adicional de refrigerante y tipo de control de refrigerante.
 - Datos sobre el compresor(espiral herméticamente sellado), cantidad, potencia del motor, rpm, tipo de aceite, volumen de carga de aceite, y W de la resistencia del cárter.
 - Diámetros de las conexiones de tuberías.
 - Material de aislamiento.
- Datos eléctricos.
 - Voltaje y frecuencia nominal de funcionamiento.
 - Rango de voltaje, corriente mínima del circuito, corriente total en sobreintensidad, corriente máxima del fusible, corriente con el rotor bloqueado, corriente nominal, consumo del motor del ventilador exterior y el interior, corriente funcionando a plena carga y potencia absorbida nominal del motor.
- Tablas de capacidades, para funcionamiento en refrigeración y funcionamiento en calefacción.

Las tablas de capacidad de refrigeración, dan para cada modelo y en función de la temperatura de bulbo húmedo o bulbo seco del aire a la entrada de la unidad interior y de la temperatura de bulbo seco del aire exterior, la capacidad frigorífica total (TC), capacidad de calor sensible (SHC) y el consumo de la unidad(PI), que incluye los consumos de el compresor y los motores de los ventiladores interior y exterior.

Ofrecen una fórmula para corregir la capacidad sensible para otros valores de temperatura de bulbo seco o húmedo del aire de entrada distintos a los tabulados y se dan los valores del caudal de aire y del factor de by-pass.

Exterior	Interior		20			25		
	EWB (°C)	EDB (°C)	TC	SHC	PI	TC	SHC	PI
		12.0	18.00	6.2	4.8	1.81	6.1	4.7
	14.0	20.00	6.6	4.8	1.90	6.5	4.7	2.16
	16.0	22.00	7.2	4.9	1.90	7.0	4.8	2.16
71	18.0	25.00	7.7	5.1	1.99	7.5	4.9	2.16
	19.0	27.00	8.0	5.2	1.99	7.7	5.1	2.16
	19.5	27.00	8.0	5.2	1.99	7.9	5.1	2.16
	22.0	30.00	8.7	5.3	2.07	8.5	5.2	2.24
	24.0	32.00	9.4	5.3	2.07	9.1	5.2	2.24
	12.0	18.00	8.4	7.0	2.60	8.3	6.9	2.79
	14.0	20.00	8.9	7.0	2.69	8.8	6.9	2.79
	16.0	22.00	10.1	7.1	2.69	9.8	7.0	2.89
	18.0	25.00	10.8	7.4	2.69	10.5	7.3	2.89
100	19.0	27.00	11.1	7.5	2.69	10.8	7.4	2.98
	19.5	27.00	11.2	7.5	2.69	11.0	7.4	2.98
	22.0	30.00	12.2	7.6	2.79	11.8	7.5	2.98
	24.0	32.00	13.0	7.7	2.89	12.7	7.6	3.08

figura 5.13: Tablas de capacidades frigoríficas

Las tablas de capacidades caloríficas, dan para cada modelo y en función de la temperatura de bulbo seco del aire interior y de la temperatura de bulbo húmedo del aire exterior la capacidad calorífica (TC) y el consumo total(PI). Al igual que en el caso de refrigeración se pueden calcular el valor del caudal de aire y el factor de by-pass.

Temperatura exterior de bulbo húmedo

modelo

Temperatura interior de bulbo seco

Exterior	Interior EDB (°C)	-10		-5	
		TC	PI	TC	PI
71	16.0	6.3	2.17	6.7	2.25
	18.0	6.3	2.17	6.7	2.25
	20.0	6.3	2.33	6.7	2.33
	22.0	6.3	2.33	6.7	2.41
	24.0	6.3	2.41	6.7	2.49
100	16.0	8.7	3.26	9.5	3.36
	18.0	8.6	3.36	9.4	3.46
	20.0	8.6	3.56	9.3	3.67
	22.0	8.6	3.67	9.3	3.77
	24.0	8.5	3.77	9.3	3.87

figura 5.14: Tablas de capacidades caloríficas

- Planos de dimensiones de la unidad exterior.
- Gráficos de los límites de funcionamiento en refrigeración y calefacción.
- Diagramas de tuberías de la unidad exterior.
- Diagramas de cableado de la unidad exterior.
- Datos del nivel acústico y gráficos de espectro de presión acústica.
- Accesorios y opciones de la unidad exterior.
- Centro de gravedad de la unidad exterior.
- Instrucciones de instalación de la unidad exterior.

5.1.2.3. Catálogo del equipo RPI5HG7E + RAS5HG7E de Hitachi

Este equipo es un modelo tipo split, con unidad interior preparada para conexión a conductos. Esta gama presenta siete modelos, que van del RPI2HG7E (con una capacidad frigorífica nominal de 5.2 kW), hasta el modelo RPI6HG7E (con una capacidad frigorífica nominal de 14 kW).

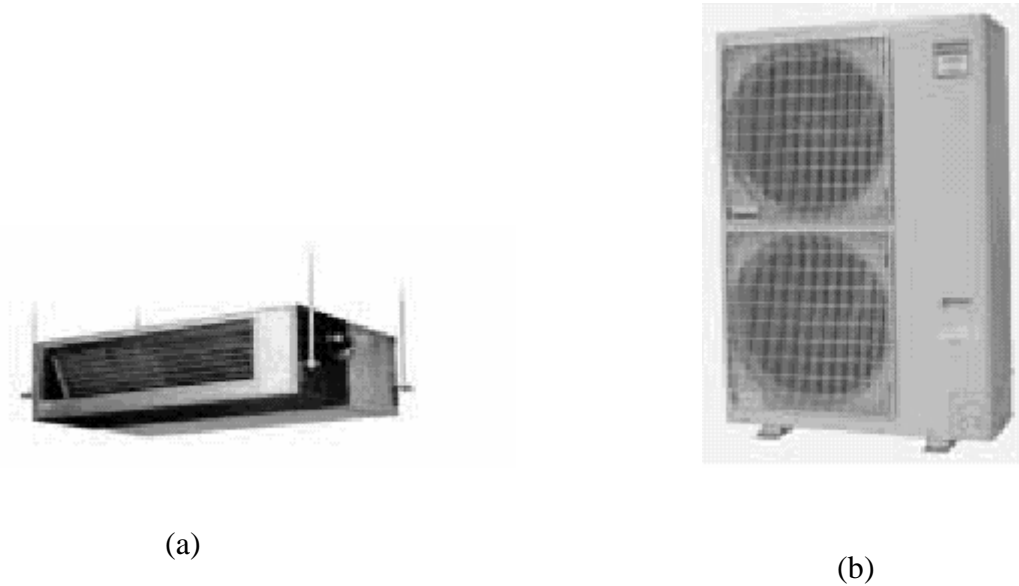


figura 5.15: (a) unidad interior RPI5HG7Ey (b) unidad exterior RASHG7E reversible condensada por aire de Hitachi.

Por orden, se citan a continuación las distintas partes que nos encontramos en el catálogo técnico de Hitachi de este equipo:

- Características más señaladas del equipo.
- Esquemas de sistemas sencillos, combinación de varias unidades interiores.
- Características generales de las unidades interiores y de las unidades exteriores.
- Esquemas de las piezas que componen estas unidades.
- Datos físicos de las unidades interiores. Dentro de este apartado da los siguientes datos:
 - Capacidad frigorífica y calorífica nominales.

MODELO	Capacidad frigorífica nominal (kW)	Capacidad calorífica nominal (kW)
2	5.2	5.7
2.5	6.3	6.9
3	7.3	8.2
3.5	7.9	9.1
4	10.8	11.8
5	12.4	15.20
6	14.0	16.6

Tabla 5.4: capacidades frigoríficas y caloríficas del equipo autónomo reversible condensado por aire RPI*HG7E+RAS*HG7E.

- Caudal de aire.
- Presión estática.
- Consumo del motor del ventilador.
- Nivel de presión acústica.
- Dimensiones y peso.
- Carga de refrigerante.
- Conexiones de las tuberías.
- Datos generales de la unidad exterior:
 - Dimensiones y peso de la unidad interior.
 - Material y color de la unidad interior.
 - Presión acústica.
 - Carga de refrigerante,(R-407C).
 - Tipo de compresor y número de compresores.
 - Tipo del ventilador de la batería interior y su consumo.
 - Diámetro de las conexiones a las tuberías.
 - Tensiones de alimentación y frecuencia.
- Datos detallados de algunos componentes:
 - Tipo de intercambiadores para la unidad interior y exterior (tubo de aletas cruzadas de paso múltiple), características de las tuberías(material diámetro exterior y filas), características de las aletas(material, separación y presión máxima de servicio).
 - Tipo de ventilador, número de ventiladores, diámetro exterior y caudal nominal de aire, para la unidad interior y exterior.
 - Tipo del motor del ventilador, potencia que absorbe, cantidad y tipo de aislamiento, para la unidad interior y exterior.
 - Tipo de compresor, rpm, desplazamiento, control de capacidad, resistencia a la presión de descarga.
 - Tipo del motor del compresor, método de arranque, polos, clase de aislamiento, aceite y carga.

- Planos de dimensiones de la unidad interior y exterior.
- Ejemplo del método de selección de una unidad.
- Combinaciones posibles de unidades interiores y exteriores, donde se da para cada combinación tanto en refrigeración y calefacción la potencia, el consumo , el coeficiente de eficiencia energética y la clase energética. En este apartado se da una tabla con la correspondencia que tiene el coeficiente de eficiencia energética con la clase energética.
- Tablas de capacidades, para funcionamiento en refrigeración y funcionamiento en calefacción.

Las tablas de capacidad de refrigeración, dan para cada modelo el caudal de aire de la unidad interior(QA) y un factor de corrección de la capacidad sensible(CR). En el caso de que la temperatura de bulbo seco del aire a la entrada de la unidad interior no sea alguna de las que viene en tablas se da una fórmula para calcular esta corrección.

En función de la temperatura de bulbo húmedo o bulbo seco del aire a la entrada de la unidad interior y de la temperatura de bulbo seco del aire exterior se da la capacidad frigorífica total (TC), capacidad de calor sensible (SHC), el consumo del compresor (CIPT), el consumo total de la unidad(IPT) y el EER.

Se dan unos factores de corrección para hallar la capacidad frigorífica, la capacidad sensible y el consumo del compresor en el caso de que el caudal de aire no sea el nominal.

Modelos	Unidades	Aire de entrada de la unidad interior		Temperatura de BULBO											
		QA	CR	21						25					
				WB	DB	TC	SHC	CIPT	IPT	EER	TC	SHC	CIPT	IPT	EER
RPI-2HG7E + RAS-2(A/H)GV7E	2 HP 50 Hz 1~	16.0 - 0.247 -	16	23	5.1	3.8	1.5	1.8	2.8	5.0	3.8	1.5	1.9	2.7	
			18	25	5.5	3.7	1.5	1.8	3.0	5.4	3.7	1.6	1.9	2.8	
			20	27	5.8	3.7	1.5	1.9	3.1	5.7	3.7	1.6	2.0	2.9	
			22	30	6.0	3.8	1.6	1.9	3.1	5.9	3.8	1.7	2.0	2.9	
RPI-2.5HG7E + RAS-2.5(A/H)GV7E	2.5 HP 50 Hz 3~	19.0 - 0.311 -	16	23	6.2	4.6	1.8	2.2	2.8	6.1	4.6	1.9	2.3	2.6	
			18	25	6.6	4.5	1.9	2.2	3.0	6.5	4.5	2.0	2.4	2.8	
			20	27	7.0	4.5	1.9	2.3	3.1	6.9	4.5	2.0	2.4	2.9	
			22	30	7.2	4.6	2.0	2.3	3.1	7.1	4.6	2.1	2.5	2.9	
RPI-2.5HG7E + RAS-2.5(A/H)GV7E	2.5 HP 50 Hz 1~	19.0 - 0.311 -	16	23	6.2	4.6	1.8	2.2	2.8	6.1	4.6	1.9	2.3	2.6	
			18	25	6.6	4.5	1.9	2.2	3.0	6.5	4.5	2.0	2.4	2.8	
			20	27	7.0	4.5	1.9	2.3	3.1	6.9	4.5	2.0	2.4	2.9	
			22	30	7.2	4.6	2.0	2.3	3.1	7.1	4.6	2.1	2.5	2.9	
RPI-3HG7E + RAS-3(A/H)GV7E	3 HP 50 Hz 3~	22.0 - 0.378 -	16	23	7.2	5.3	2.1	2.6	2.8	7.1	5.3	2.2	2.7	2.6	
			18	25	7.7	5.3	2.1	2.6	2.9	7.5	5.2	2.3	2.7	2.7	
			20	27	8.1	5.2	2.2	2.7	3.0	8.0	5.2	2.3	2.8	2.8	
			22	30	8.4	5.3	2.2	2.7	3.1	8.2	5.3	2.4	2.9	2.9	

figura 5.16: Tablas de capacidades frigoríficas

Las tablas de capacidades caloríficas, dan para cada modelo el caudal de aire(QA), y en función de la temperatura de bulbo seco del aire interior y de la temperatura de bulbo húmedo del aire exterior la capacidad calorífica (TH), el consumo del compresor(CIPT), el consumo total(IPT) y el COP. Se dan los factores de corrección de las capacidades de calefacción en función del caudal de aire.

Temperatura exterior de bulbo húmedo

Aire de entrada de la unidad interior

Modelos	Unidad	QA	°C		Temperatura de E							
			WB	DB	-7				-5			
					TH	CIPT	IPT	COP	TH	CIPT	IPT	COP
RPI-2HG7E + RAS-2HGV7E	2 HP 50 Hz 1-	16	-	26	4,0	1,3	1,7	2,4	4,2	1,4	1,7	2,4
			-	24	4,0	1,3	1,7	2,4	4,3	1,4	1,7	2,5
			-	22	4,0	1,3	1,6	2,5	4,3	1,3	1,7	2,6
			-	20	4,1	1,3	1,6	2,6	4,4	1,3	1,6	2,7
			-	18	4,2	1,2	1,6	2,6	4,4	1,3	1,6	2,7
			-	16	4,2	1,2	1,5	2,7	4,4	1,3	1,6	2,8
RPI-2.5HG7E + RAS-2.5HG7E	2,5 HP 50 Hz 3-	19	-	26	4,8	1,7	2,0	2,4	5,1	1,7	2,1	2,4
			-	24	4,9	1,6	2,0	2,4	5,2	1,7	2,1	2,5
			-	22	4,9	1,6	2,0	2,5	5,2	1,7	2,0	2,6
			-	20	5,0	1,6	1,9	2,6	5,3	1,6	2,0	2,7
			-	18	5,0	1,5	1,9	2,7	5,3	1,6	2,0	2,7
			-	16	5,1	1,5	1,9	2,8	5,4	1,6	1,9	2,8

modelo

Temperatura interior de bulbo seco

figura 5.17: Tablas de capacidades caloríficas

- Ejemplos de cálculo de capacidades en el caso de varias unidades interiores.
- Gráficos de factores de corrección de las capacidades de enfriamiento y calefacción según la longitud de la tubería.
- Factores de corrección para tener en cuenta el efecto del escarche y desescarche en el intercambiador de calor para la capacidad de calefacción según la temperatura exterior de bulbo húmedo.
- Curvas de rendimiento del ventilador donde se representa la presión estática externa frente el caudal de aire.
- Diagramas de distribución de la temperatura.
- Gráficos de espectro de sonido de las unidades interiores y exteriores.
- Margen de funcionamiento en temperaturas. Para el funcionamiento en refrigeración la temperatura interior mínima es de 21°C de b.s y 15.5°C b.h, la temperatura máxima es 32°C b.s y 22.5°C b.h. La temperatura exterior mínima es de -5°C b.s y la máxima de 43°C b.h. En calefacción la temperatura interior mínima de b.s es de 15°C y 27°C la

máxima, la temperatura exterior de bulbo húmedo es de -8°C la mínima y 15.5°C la máxima.

- Longitud de tuberías de refrigerante.
- Datos eléctricos: voltaje y frecuencia de la fuente de alimentación, tensión aplicable mínima y máxima, corriente de funcionamiento y consumo del ventilador de la unidad interior y exterior, corriente nominal y consumo nominal de la unidad, corriente de funcionamiento de la unidad exterior, corriente máxima de la unidad exterior, corriente de arranque del compresor, corriente de funcionamiento del compresor y consumo del compresor.
- Cuadro de combinaciones de la unidades interiores con una unidad exterior.
- Diagramas de cableado.
- Esquemas del ciclo de refrigerante.
- Sistemas de control.
- Funciones opcionales disponibles.
- Funcionamiento de controladores remotos.
- Instalación de la unidad.
- Conexiones de tubería.
- Carga de refrigerante.
- Cableado eléctrico.

5.1.3. Comparación de datos disponibles en los catálogos

De los datos que dan los catálogos se observa que las capacidades frigoríficas que dan las tres marcas son totales, sin embargo las capacidades caloríficas en Hitachi y Daikin son totales y en Carrier es total instantánea (no tiene en cuenta los efectos del escarche y desescarche). La capacidad de Hitachi tampoco tiene en cuenta los efectos del escarche, ya que a parte de las tablas, da unos factores de corrección para tener esto en cuenta. En Daikin no se dice nada al respecto.

En el catálogo de Carrier se puede observar como la capacidad frigorífica nominal que se da en tablas no coincide con la capacidad frigorífica nominal que se da en las especificaciones técnicas al comienzo del catálogo.

La potencia de los compresores, en refrigeración la da Hitachi y Carrier y en calefacción la da Hitachi, sin embargo, Daikin no ofrece este dato. Sobre el consumo total de la unidad, Carrier en refrigeración no lo da y en calefacción da el consumo efectivo total, pero no se especifica a qué se refiere consumo efectivo.

Esto hace que a la hora de posibles comparaciones nos limitemos a los datos de las tablas, y se comparen cosas distintas, ya que por ejemplo si se quisieran comparar EER, el de Carrier sería potencia frigorífica total /consumo de los compresores; Daikin: Capacidad total/consumo compresores+ventiladores; e Hitachi sería Capacidad total/potencia total de entrada.

El COP lo ofrece Hitachi, e indica a partir de qué datos se ha obtenido, también lo da Carrier, pero lo ha obtenido a partir del consumo efectivo, así que no se sabe si el COP de Hitachi y el de Carrier tienen en cuenta las mismas cosas. El EER en el único catálogo que se da es en el de Hitachi.

Un problema que se ha encontrado en el catálogo de Hitachi es que no viene en tablas un punto que sean las condiciones nominales tanto en refrigeración como en calefacción.

El caudal de aire lo da Daikin en m³/min, y Carrier en l/s, y tanto uno como otro no se indica a qué unidad se refiere. En Hitachi se da el caudal de aire también en m³/min, y sí se indica que se refiere a la unidad interior.

El factor de bypass la única marca que hace referencia es Daikin.

Como se puede apreciar, a parte de que no están especificadas claramente algunas cosas que pueden inducir a errores, existen diferencias en las unidades, puntos en los que se toman los datos, nombres, etc.

5.1.4. Representación de datos

5.1.4.1. Modelo 50YZ048 de Carrier

En primer lugar, para refrigeración, se representa la potencia frigorífica y el EER respecto a la temperatura interior de bulbo húmedo. El EER que se ha representado está hallado a partir de la potencia frigorífica total y el consumo del compresor, porque son los datos tabulados.

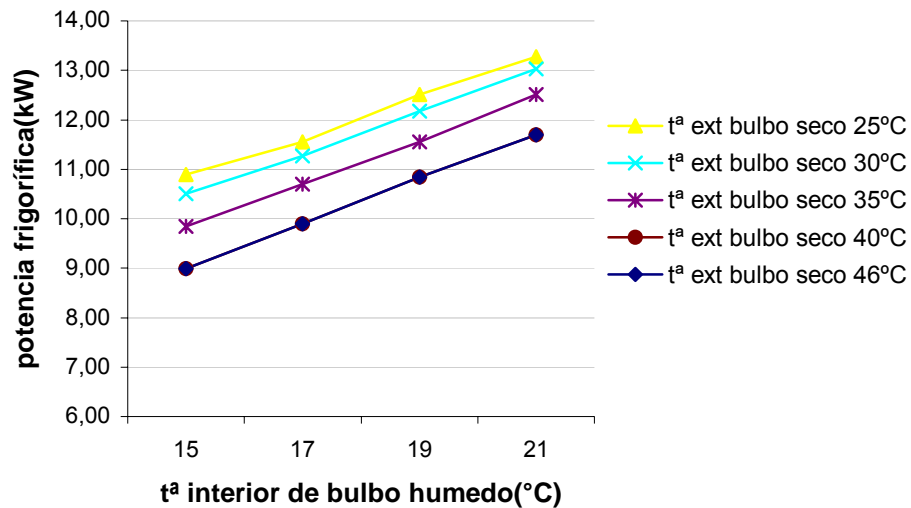


figura 5.18: Potencia frigorífica frente la temperatura interior de bulbo húmedo para distintas temperaturas de bulbo seco del aire exterior.

La potencia frigorífica aumenta conforme aumenta la temperatura interior de bulbo húmedo, ya que el calor intercambiado en el evaporador aumenta. Las rectas de temperatura exterior mayores presentan menores potencias frigoríficas debido a que al aumentar la temperatura exterior, disminuye el calor cedido por el condensador y por tanto, la potencia frigorífica.

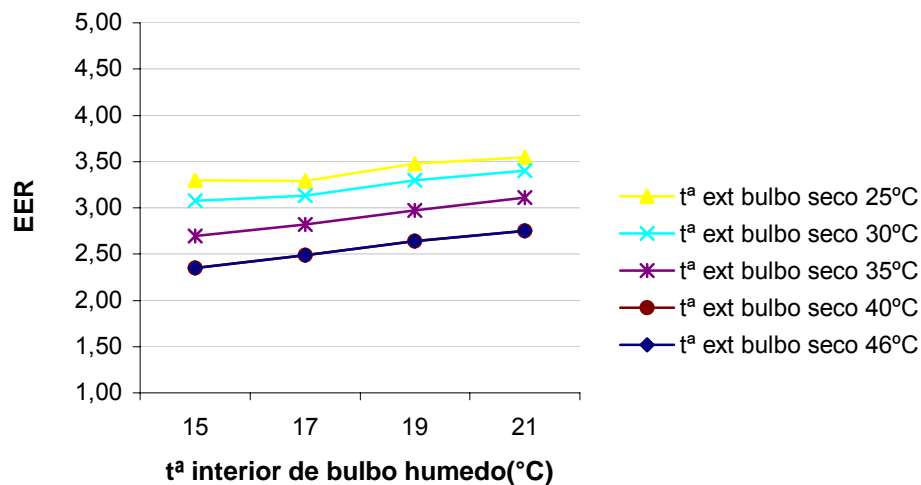


figura 5.19: EER frente la temperatura interior de bulbo húmedo para distintas temperaturas de bulbo seco del aire exterior.

A continuación, se da el valor de la tasa de variación de cada curva de temperatura de aire exterior. Esta tasa de variación se ha obtenido hallando las tasas de variación de cada uno de los intervalos y obteniendo un valor medio de estos.

Las tasas de variación porcentuales son los porcentajes que aumentan o que disminuyen por cada °C de variación de temperatura, tomando este porcentaje sobre el valor nominal de lo que se esté estudiando. Es decir, si la tasa de variación del EER es de un 2.3 %, el EER aumentará un 2.3% de su valor nominal por cada °C que aumento la temperatura. El valor nominal tomado de la potencia frigorífica es 11.55 kW, y el del EER es 2.96.

Temperatura del aire exterior (°C)	Tasa de variación de la potencia frigorífica (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la potencia frigorífica (%/°C)	Tasa de variación porcentual Del EER (%/°C)
25	0,40	3,46	1,40
30	0,42	3,64	1,85
35	0,45	3,90	2,34
40	0,45	3,90	2,28
46	0,46	3,98	2,64
Valor medio de la tasa de variación	0,44	3,77	2,10

Tabla 5.5: Tasas de variación para la Potencia frigorífica y EER respecto la temperatura del aire exterior.

De la interpretación de las tasas de variación anteriores se obtiene que se gana aproximadamente 0.44 kW de Potencia frigorífica por cada °C que aumente la temperatura interior de bulbo húmedo.

Ahora, se representan la potencia frigorífica respecto la temperatura exterior de bulbo seco, para distintas temperaturas interiores de bulbo húmedo.

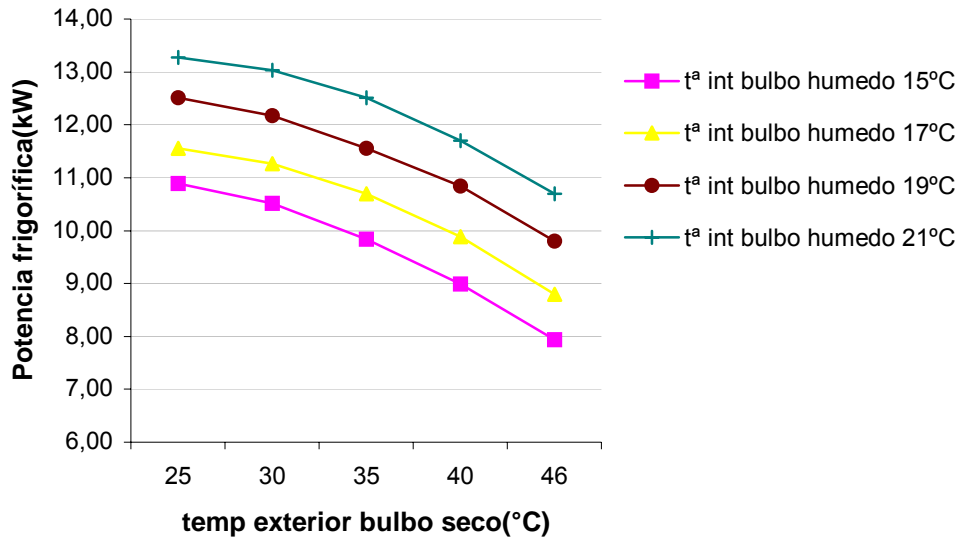


figura 5.20: Potencia frigorífica frente a temperatura exterior de bulbo seco, para distintas temperaturas interiores de bulbo húmedo

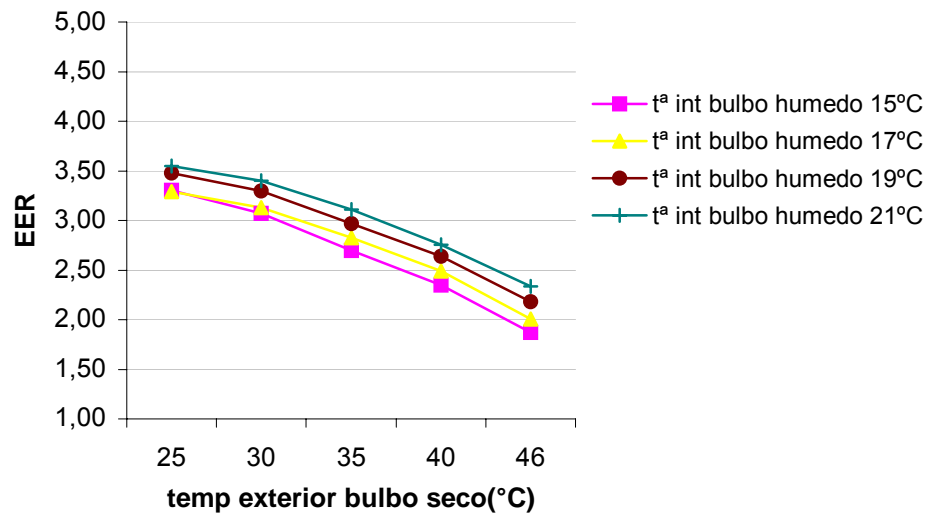


figura 5.21: EER frente la temperatura exterior de bulbo seco, para distintas temperaturas interiores de bulbo húmedo

La tabla de las tasas de variación quedan:

Temperatura interior de bulbo húmedo (°C)	Tasa de variación de la potencia frigorífica	Tasa de variación porcentual de la potencia frigorífica (%/°C)	Tasa de variación porcentual Del EER (%/°C)
15	-0,14	-1,21	-2,28
17	-0,13	-1,13	-2,04
19	-0,13	-1,13	-2,06
21	-0,12	-1,04	-1,93
Valor medio de la tasa de variación	-0.13	-1,13	-2,08

Tabla 5.6: Tasas de variación para la Potencia frigorífica y EER respecto la temperatura exterior de bulbo seco.

Esta tasa de variación significa que se pierde aproximadamente 0.13 kW de Potencia frigorífica por cada °C que aumente la temperatura de entrada del aire exterior.

La capacidad sensible se da en función de tres parámetros, de la temperatura exterior de bulbo seco, de la temperatura interior de bulbo húmedo y de la temperatura interior de bulbo seco.

Manteniendo la temperatura interior de bulbo húmedo constante a 19°C, y haciendo variar los otros dos parámetros, se obtiene que la capacidad sensible aumenta 0.64 kW aproximados al aumentar un °C la temperatura interior de bulbo seco y disminuye 0.07 kW al aumentar un °C la temperatura exterior de bulbo seco, como se muestra en los siguientes gráficos.

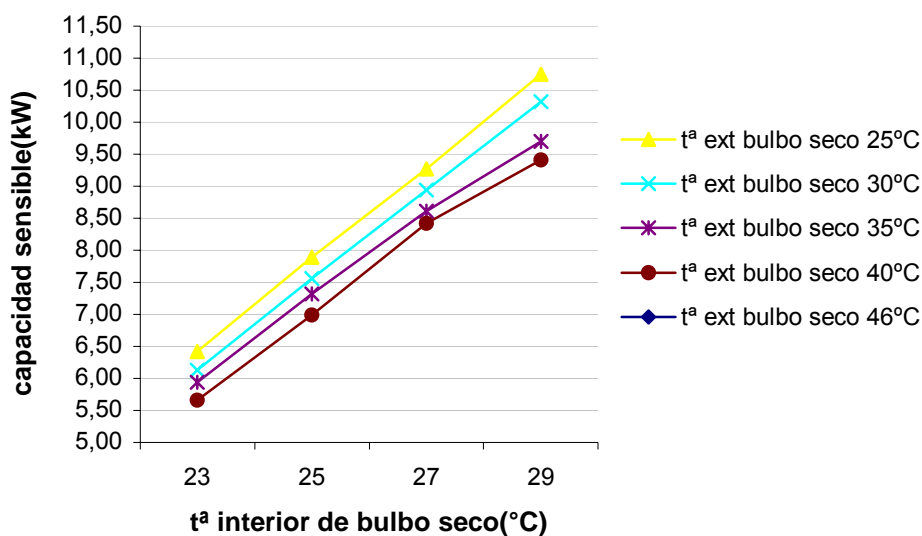


figura 5.22: Capacidad sensible frente a temperatura interior de bulbo seco, para distintas temperaturas exteriores de bulbo seco.

Al mantener la temperatura interior de bulbo húmedo constante, si se aumenta la temperatura interior de bulbo seco, hará que la proporción de capacidad sensible vaya aumentando, ya que la capacidad latente disminuirá. El aumento de la temperatura exterior, hará que el calor intercambiado disminuya y en consecuencia, la capacidad sensible.

El valor nominal de la capacidad sensible sobre el que se ha hallado la tasa de variación porcentual es 8.61kW.

Las tasas de variación quedan:

Temperatura del aire exterior (°C)	Tasa de variación de la capacidad sensible (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la capacidad sensible (%/°C)
25	0,72	8,362
30	0,70	8,130
35	0,63	7,317
40	0,63	7,317
46	0,50	5,807
Valor medio de la tasa de variación	0,64	7,387

Tabla 5.7: Tasas de variación para la Capacidad sensible respecto la temperatura interior de bulbo seco.

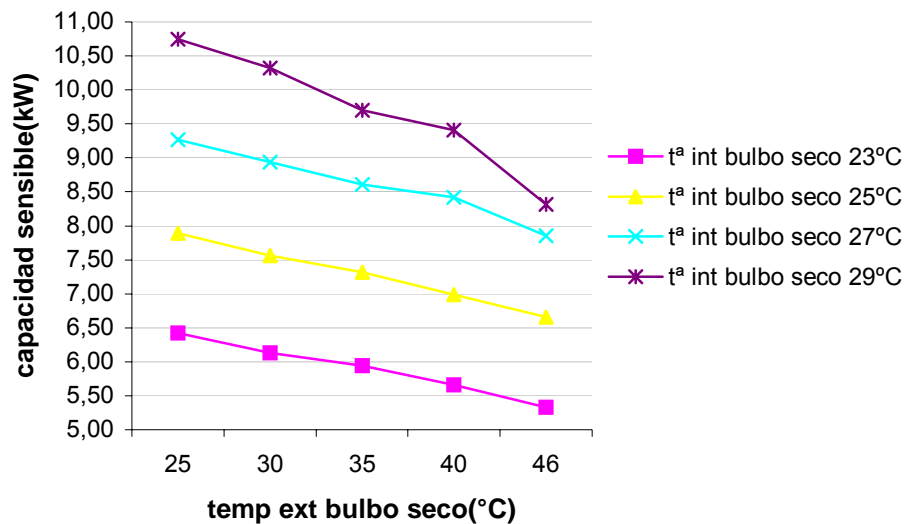


figura 5.23: Capacidad sensible frente a temperatura exterior de bulbo seco, para distintas temperaturas interiores de bulbo seco.

Temperatura interior bulbo seco (°C)	Tasa de variación de la capacidad sensible (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la capacidad sensible (%/°C)
23	-0,05	-0,581
25	-0,06	-0,697
27	-0,07	-0,813
29	-0,11	-1,278
Valor medio de la tasa de variación	-0.07	-0,842

Tabla 5.8: Tasas de variación para la Capacidad sensible respecto la temperatura exterior de bulbo seco.

Si lo que se mantuviera constante fuese la temperatura interior de bulbo seco a 25°C se puede estudiar la variación de la capacidad sensible respecto la temperatura exterior de bulbo seco y respecto la temperatura interior de bulbo húmedo.

La capacidad sensible se ve afectada en que se pierde 0.57 kW al aumentar un °C la temperatura interior de bulbo húmedo y 0.08 kW cuando se aumenta un °C la temperatura exterior de bulbo seco.

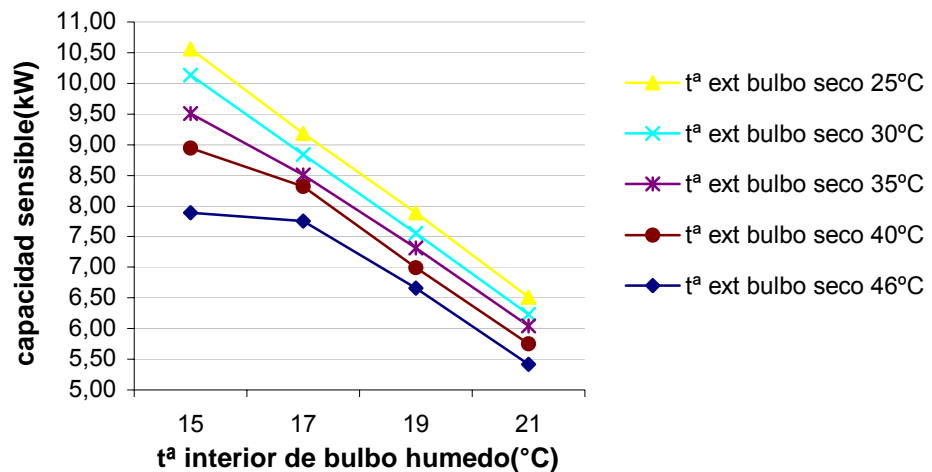


figura 5.24: Capacidad sensible frente a temperatura interior de bulbo húmedo , para distintos valores de temperaturas exteriores de bulbo seco.

En la anterior gráfica se puede observar, como si se mantiene constante la temperatura interior de bulbo seco, aumentando la temperatura interior de bulbo húmedo, lo que se consigue es un aumento de la capacidad latente, que provocará una disminución de la capacidad sensible. El aumento de la temperatura exterior de bulbo seco, hará que el calor intercambiado disminuya y por tanto la capacidad sensible.

Temperatura del aire exterior (°C)	Tasa de variación de la capacidad sensible (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la capacidad sensible (%/°C)
25	-0,68	-7,898
30	-0,65	-7,549
35	-0,58	-6,736
40	-0,53	-6,156
46	-0,41	-4,762
Valor medio de la tasa de variación	-0,57	-6,620

Tabla 5.9: Tasas de variación para la Capacidad sensible respecto la temperatura interior de bulbo húmedo

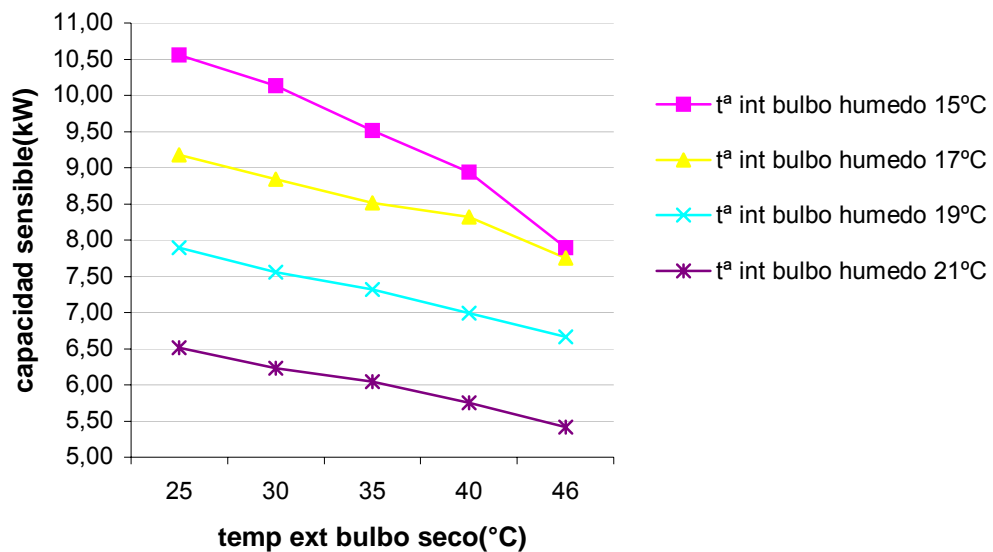


figura 5.25: Capacidad sensible frente a temperatura exterior de bulbo seco, para distintos valores de temperaturas interiores de bulbo húmedo.

Temperatura interior bulbo seco (°C)	Tasa de variación de la capacidad sensible (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la capacidad sensible (%/°C)
15	-0,12	-1,394
17	-0,07	-0,813
19	-0,06	-0,697
21	-0,05	-0,581
Valor medio de la tasa de variación	-0,08	-0,871

Tabla 5.10: Tasas de variación para la Capacidad sensible respecto la temperatura exterior de bulbo seco.

Tomando para cada valor de temperatura interior de bulbo húmedo una temperatura interior de bulbo seco, se llega a que aumenta 0.05 kW la capacidad sensible al aumentar un °C la temperatura interior de bulbo húmedo.

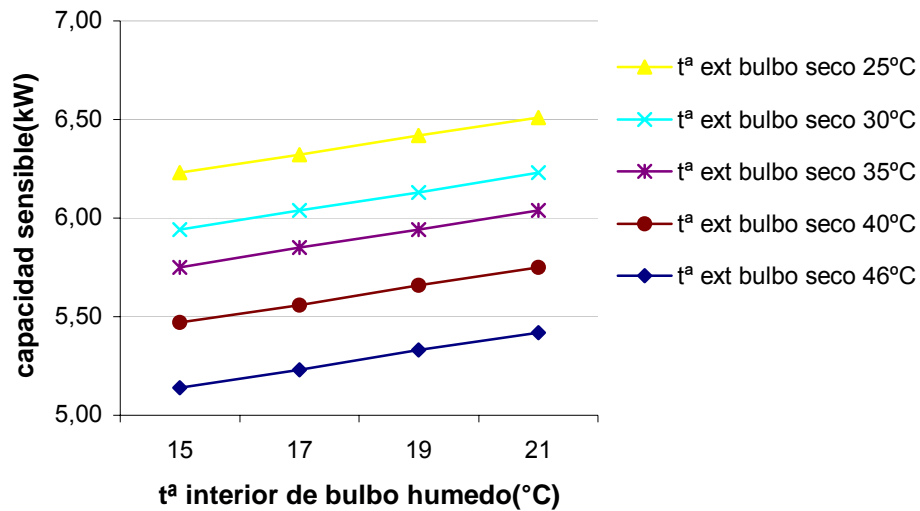


figura 5.26: Capacidad sensible frente a temperatura interior de bulbo húmedo, para distintos valores de temperaturas exteriores de bulbo seco.

Temperatura del aire exterior (°C)	Tasa de variación de la capacidad sensible (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la capacidad sensible (%/°C)
25	0,05	0,581
30	0,05	0,581
35	0,05	0,581
40	0,05	0,581
46	0,05	0,581
Valor medio de la tasa de variación	0,05	0,581

Tabla 5.11: Tasas de variación para la Capacidad sensible respecto la temperatura interior de bulbo húmedo.

A continuación se representa la capacidad de calefacción y el COP respecto la temperatura interior de bulbo seco, y de las tasas de variación se concluye que la capacidad de calefacción disminuye 0,08 kW por cada °C que aumente la temperatura interior de bulbo seco. La capacidad de calefacción es la capacidad total instantánea y el consumo con el que se ha hallado el COP es el consumo efectivo total. Los valores nominales de la capacidad de calefacción y del COP son respectivamente 12,50 kW y 2,83 respectivamente.

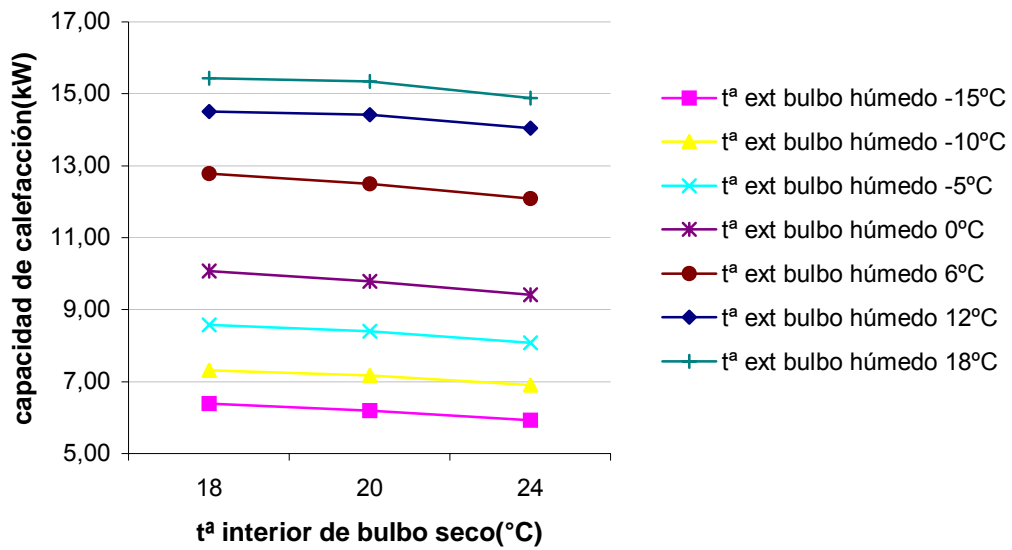


figura 5.27: Capacidad de calefacción frente la temperatura interior de bulbo seco para distintas temperaturas exteriores de bulbo seco.

Aumentando la temperatura interior de bulbo seco, lo que se consigue es una disminución del calor intercambiado. Por otro lado, al aumentar la temperatura exterior, la diferencia de temperaturas entre el exterior y la evaporación aumentará, lo que provoca un aumento de la potencia intercambiada.

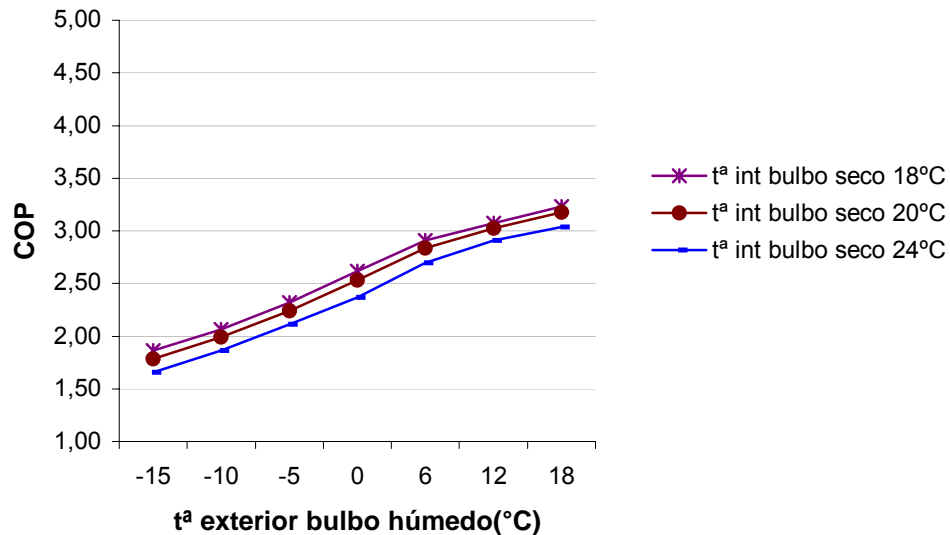


figura 5.28: COP frente la temperatura interior de bulbo seco para distintas temperaturas exteriores de bulbo seco.

Temperatura del aire exterior (°C)	Tasa de variación de la capacidad de calefacción (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la capacidad de calefacción (%/°C)	Tasa de variación porcentual del COP (%/°C)
-15	-0,08	-0,64	-1,24
-10	-0,07	-0,56	-1,19
-5	-0,09	-0,72	-1,27
0	-0,12	-0,96	-1,48
6	-0,07	-0,56	-1,29
12	-0,07	-0,56	-0,95
18	-0,08	-0,64	-1,09
Valor medio de la tasa de variación	-0,08	-0,66	-1,22

Tabla 5.12: Tasas de variación para Capacidad de Calefacción y COP respecto la temperatura interior de bulbo seco.

Si se representa la capacidad de calefacción respecto la temperatura exterior de bulbo húmedo, para distintas temperaturas de bulbo seco se obtiene que la capacidad de calefacción aumenta en 0.27 kW al variar un °C la temperatura exterior de bulbo húmedo.

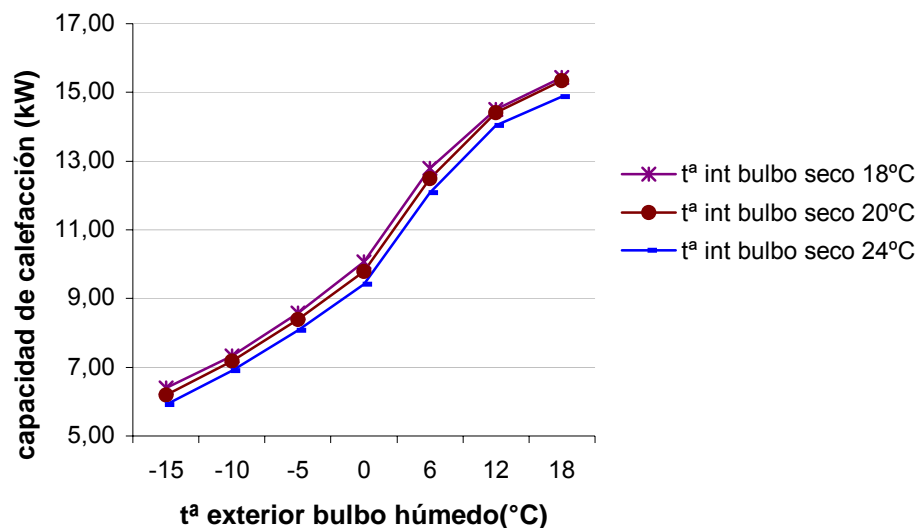


figura 5.29: Capacidad de calefacción frente la temperatura exterior de bulbo húmedo para distintas temperaturas interiores de bulbo seco.

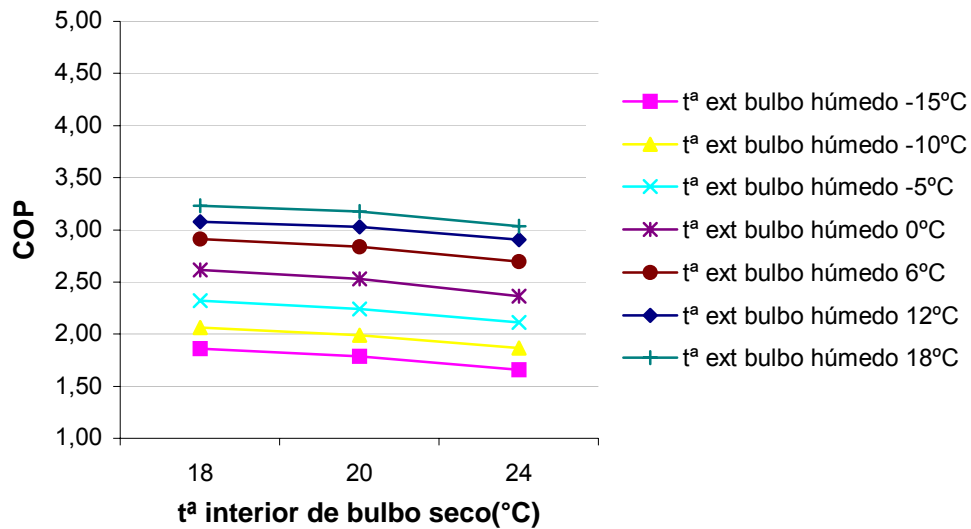


figura 5.30: COP frente la temperatura exterior de bulbo húmedo para distintas temperaturas interiores de bulbo seco.

Temperatura interior bulbo seco (°C)	Tasa de variación de la capacidad de calefacción (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la capacidad de calefacción (%/°C)	Tasa de variación porcentual del COP (%/°C)
18	0,27	2,16	1,49
20	0,27	2,16	1,51
24	0,27	2,16	1,02
Valor medio de la tasa de variación	0,27	2,16	1,34

Tabla 5.13: Tasas de variación para Capacidad de Calefacción y COP respecto la temperatura exterior de bulbo húmedo.

5.1.4.2. Modelo FHYBP125B + RYP125L7 de Daikin

La potencia frigorífica, la capacidad sensible y el consumo se da para una temperatura exterior de bulbo seco y para un par de valores de temperatura interior de bulbo húmedo y bulbo seco.

Si se estudia la potencia frigorífica y la capacidad sensible respecto la temperatura interior de bulbo húmedo, se obtiene que al aumentar un °C la temperatura interior de bulbo húmedo aumenta en 0.38 kW la potencia frigorífica y en 0.07 la capacidad sensible. El valor nominal de la potencia frigorífica es 12.2 kW, el EER que se representa se ha obtenido con la potencia frigorífica y el consumo de compresores con ventilador. El valor del EER nominal es de 2.68 y el de la capacidad sensible es 8.6 kW.

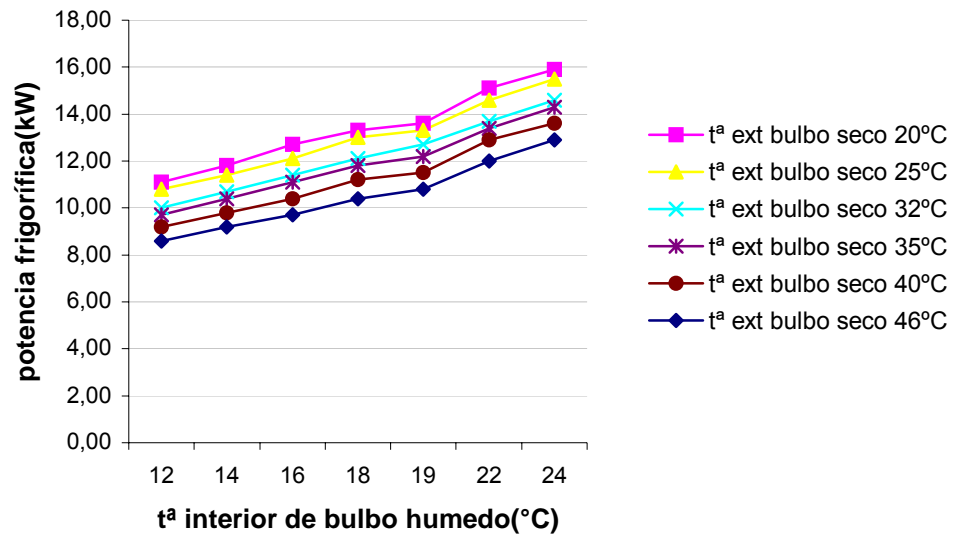


figura 5.31: Potencia frigorífica frente la temperatura interior de bulbo húmedo para distintas temperaturas de bulbo seco del aire exterior.

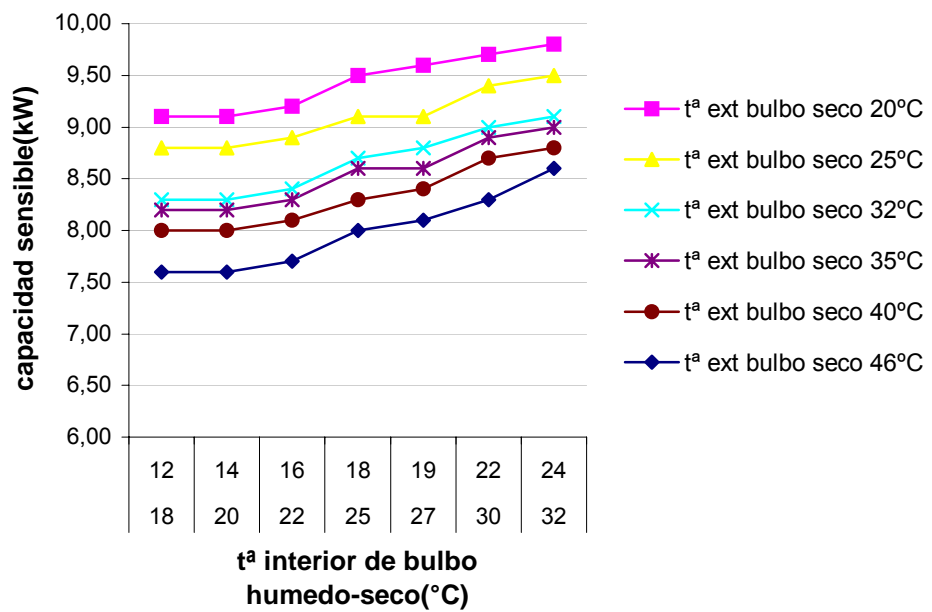


figura 5.32: Capacidad sensible frente la temperatura interior de bulbo húmedo para distintas temperaturas de bulbo seco del aire exterior.

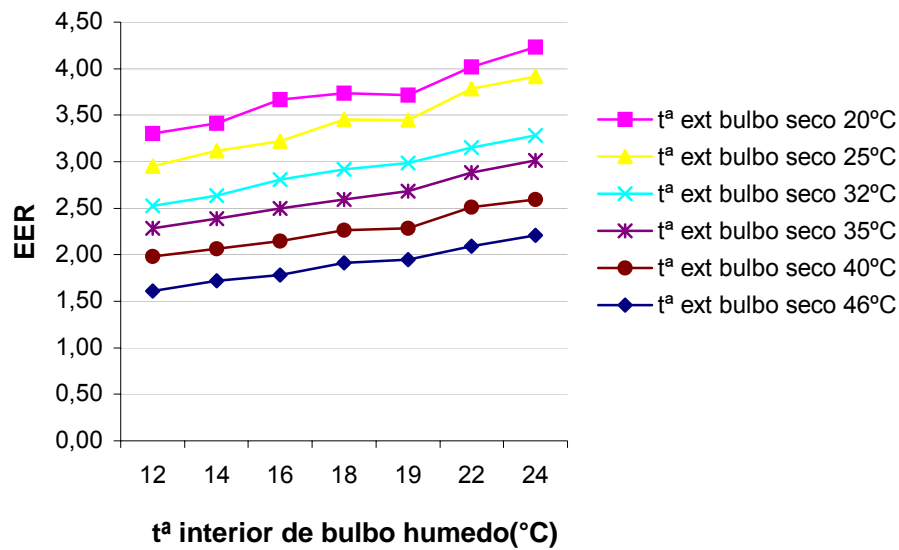


figura 5.33: EER frente a la temperatura interior de bulbo húmedo para distintas temperaturas de bulbo seco del aire exterior.

Temperatura del aire exterior (°C)	Tasa de variación de la potencia frigorífica (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la potencia frigorífica (%/°C)	Tasa de variación de la capacidad sensible (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la capacidad sensible (kW/°C)	Tasa de variación porcentual del EER (%/°C)
20	0,38	3,11	0,06	0,698	2,50
25	0,38	3,11	0,05	0,581	2,40
32	0,41	3,36	0,07	0,814	2,07
35	0,38	3,11	0,06	0,698	1,95
40	0,35	2,87	0,07	0,814	1,56
46	0,36	2,95	0,09	1,047	1,58
Valor medio de la tasa de variación	0,38	3,09	0,07	0,775	2,01

Tabla 5.14: Tasas de variación para la Potencia frigorífica, capacidad sensible y EER respecto a la temperatura interior de bulbo húmedo.

Si se representa la potencia frigorífica, la capacidad sensible y el EER respecto a la temperatura exterior de bulbo seco, se obtiene que la potencia frigorífica disminuye 0.11 kW y la capacidad sensible 0.05 kW, cuando se aumenta un °C la temperatura exterior de bulbo seco.

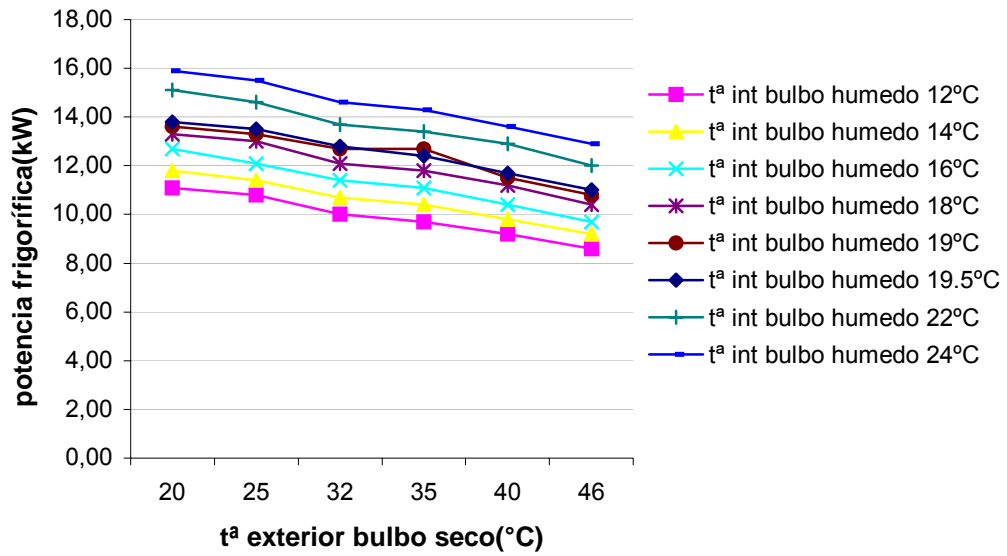


figura 5.34: Potencia frigorífica frente la temperatura exterior de bulbo seco para distintas parejas de valores de temperatura interior de bulbo húmedo-seco.

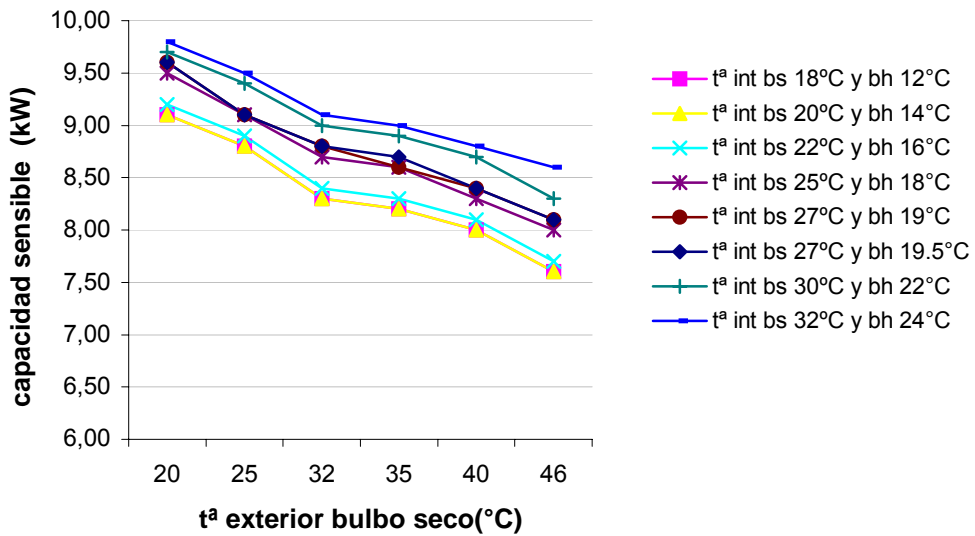


figura 5.35: Capacidad sensible frente la temperatura exterior de bulbo seco para distintas parejas de valores de temperatura interior de bulbo húmedo-seco.

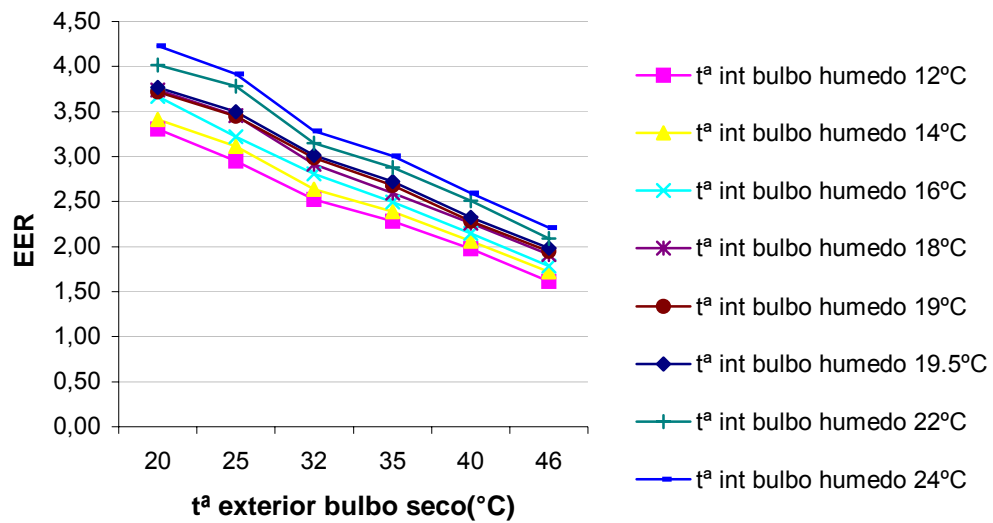


figura 5.36: EER frente a la temperatura exterior de bulbo seco para distintas parejas de valores de temperatura interior de bulbo húmedo-seco.

Temperatura interior bulbo húmedo-seco (°C)	Tasa de variación de la potencia frigorífica (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la potencia frigorífica (%/°C)	Tasa de variación de la capacidad sensible (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la capacidad sensible (kW/°C)	Tasa de variación porcentual del EER (%/°C)
12-18	-0,09	-0,74	-0,05	-0,581	-2,50
14-20	-0,10	-0,82	-0,05	-0,581	-2,47
16-22	-0,12	-0,98	-0,05	-0,581	-2,86
18-25	-0,11	-0,90	-0,06	-0,698	-2,73
19-27	-0,10	-0,82	-0,06	-0,698	-2,55
19,5-27	-0,11	-0,90	-0,06	-0,698	-2,66
22-30	-0,12	-0,98	-0,05	-0,581	-2,77
24-32	-0,11	-0,90	-0,04	-0,465	-2,92
Valor medio de la tasa de variación	-0,11	-0,88	-0,05	-0,610	-2,68

Tabla 5.15 : Tasas de variación para la Potencia frigorífica, capacidad sensible y EER respecto a la temperatura exterior de bulbo seco.

La capacidad de calefacción y el consumo de los compresores y ventiladores se dan en función de la temperatura interior de bulbo seco y de la temperatura exterior de bulbo húmedo.

Si se representa la capacidad de calefacción y el COP respecto a la temperatura interior de bulbo seco, de las tasas de variación, se concluye que la capacidad de calefacción disminuye 0.02 kW por cada °C que aumente la temperatura interior de bulbo seco y

aumenta 0.21 por cada °C que aumente la temperatura exterior de bulbo húmedo. El valor nominal de la capacidad de calefacción es 14.5 kW y el del COP es 3.2.

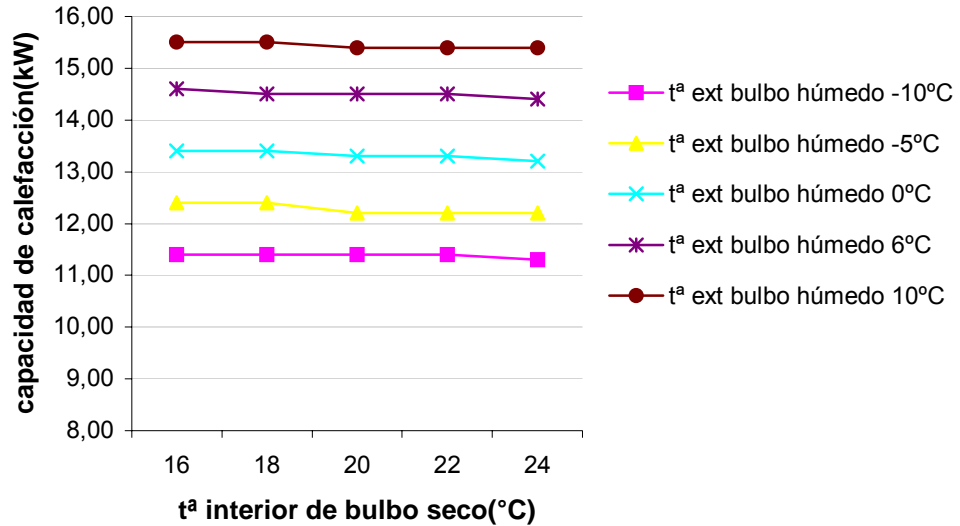


figura 5.37: Capacidad de calefacción frente la temperatura interior de bulbo seco para distintas temperaturas exteriores de bulbo seco.

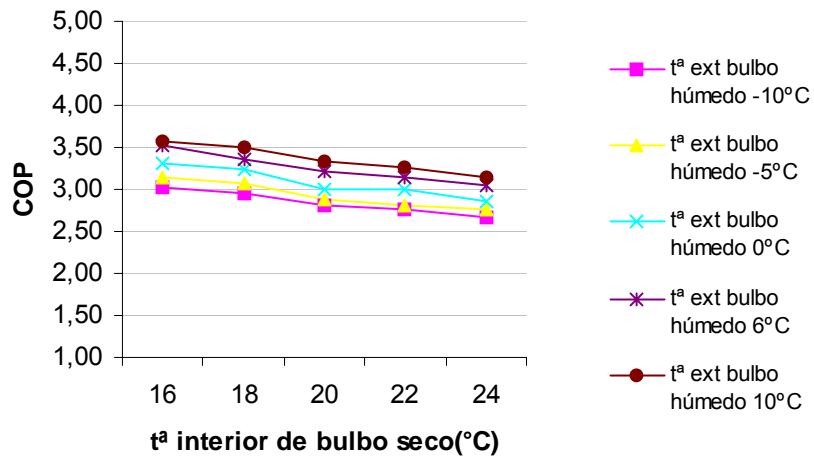


figura 5.38: COP frente la temperatura interior de bulbo seco para distintas temperaturas exteriores de bulbo seco.

Temperatura del aire exterior (°C)	Tasa de variación de la capacidad de calefacción (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la capacidad de calefacción (%/°C)	Tasa de variación porcentual del COP (%/°C)
-10	-0,01	-0,07	-1,40
-5	-0,03	-0,21	-1,47
0	-0,03	-0,21	-1,74
6	-0,02	-0,14	-1,83
10	-0,01	-0,07	-1,71
Valor medio de la tasa de variación	-0.02	0,00	-1,63

Tabla 5.16: Tasas de variación para Capacidad de Calefacción respecto la temperatura interior de bulbo seco.

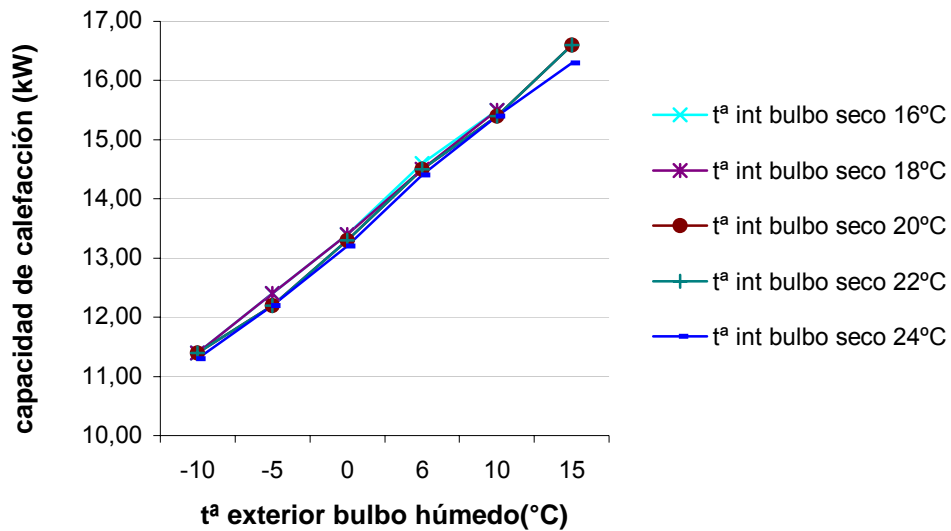


figura 5.39: Capacidad de calefacción frente la temperatura exterior de bulbo húmedo para distintas temperaturas interiores de bulbo seco.

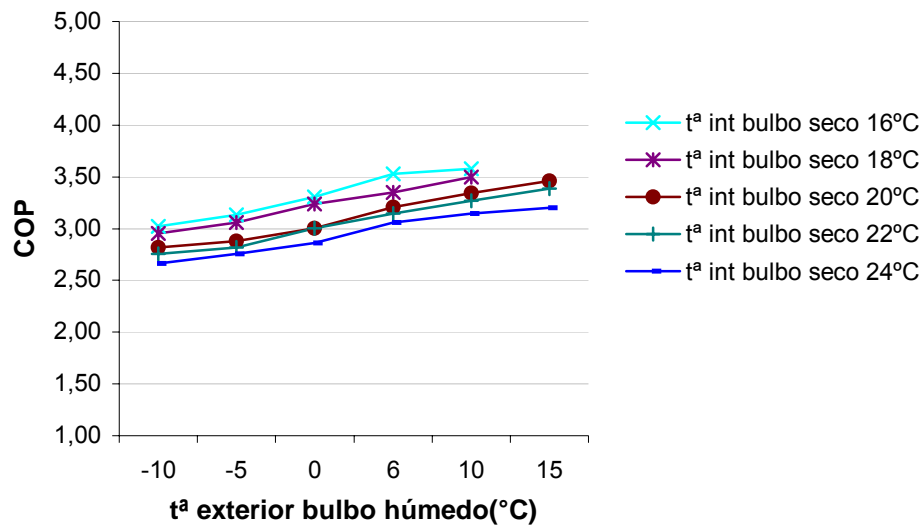


figura 5.40: COP frente la temperatura exterior de bulbo húmedo para distintas temperaturas interiores de bulbo seco.

Temperatura interior bulbo seco (°C)	Tasa de variación de la capacidad de calefacción (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la capacidad de calefacción (%/°C)	Tasa de variación porcentual del COP (%/°C)
16	0,21	1,45	0,83
18	0,21	1,45	0,88
20	0,21	1,45	0,80
22	0,21	1,45	0,80
24	0,20	1,38	0,66
Valor medio de la tasa de variación	0,21	1,43	0,79

Tabla 5.17: Tasas de variación para Capacidad de Calefacción y COP respecto la temperatura exterior de bulbo húmedo.

5.1.4.3. Modelo RPI5HG7E + RAS5HG7E

La potencia frigorífica, la capacidad sensible y la potencia total de entrada se da para una temperatura exterior de bulbo seco y para un par de valores de temperatura interior de bulbo húmedo y bulbo seco.

Representando la potencia frigorífica y la capacidad sensible respecto la temperatura interior de bulbo húmedo, se obtiene que al aumentar un °C la temperatura interior de bulbo húmedo aumenta en 0.33 kW la potencia frigorífica y en 0.02 la capacidad

sensible. El EER se ha hallado dividiendo la capacidad total entre la potencia total de entrada. El valor nominal de la potencia frigorífica es 12.4, el valor del EER en condiciones nominales no viene tabulado, así que para hallar las tasas de variación porcentuales el valor del EER que se ha tomado es 2.5, el que dan las tablas con 20°C bulbo húmedo, 27°C bulbo seco y 35°C temperatura exterior. El valor nominal de la capacidad sensible es 8.6.

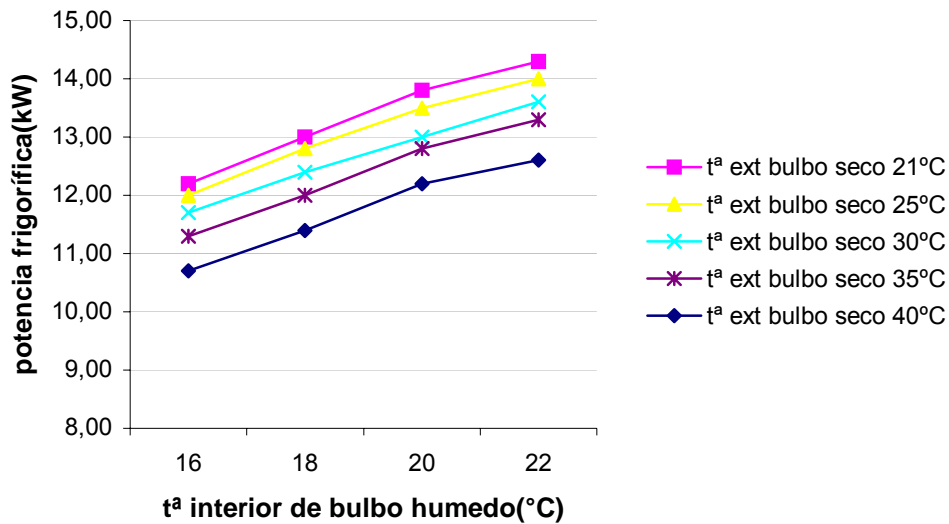


figura 5.41: Potencia frigorífica frente la temperatura interior de bulbo húmedo para distintas temperaturas de bulbo seco del aire exterior.

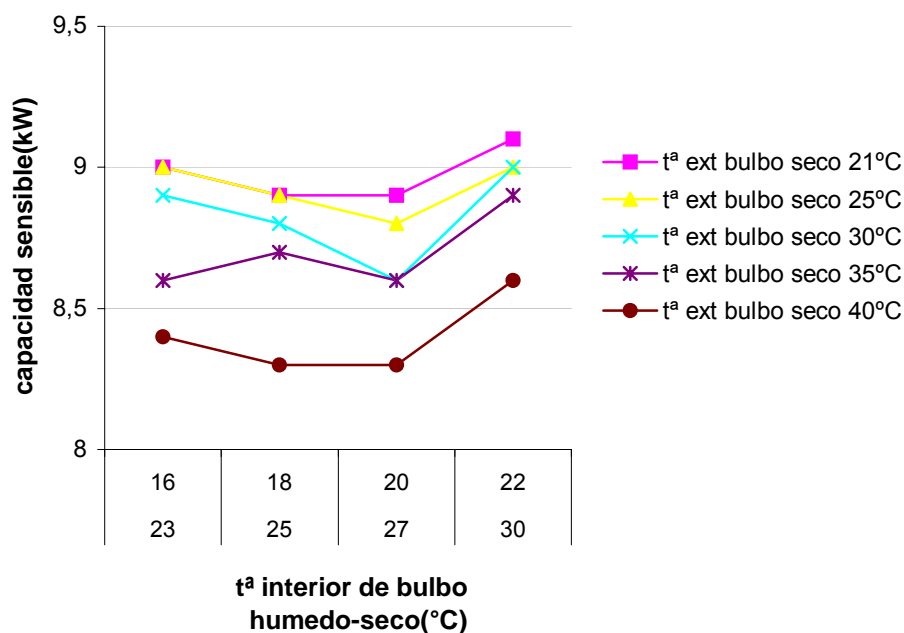


figura 5.42: Capacidad sensible frente la temperatura interior de bulbo húmedo para distintas temperaturas de bulbo seco del aire exterior.

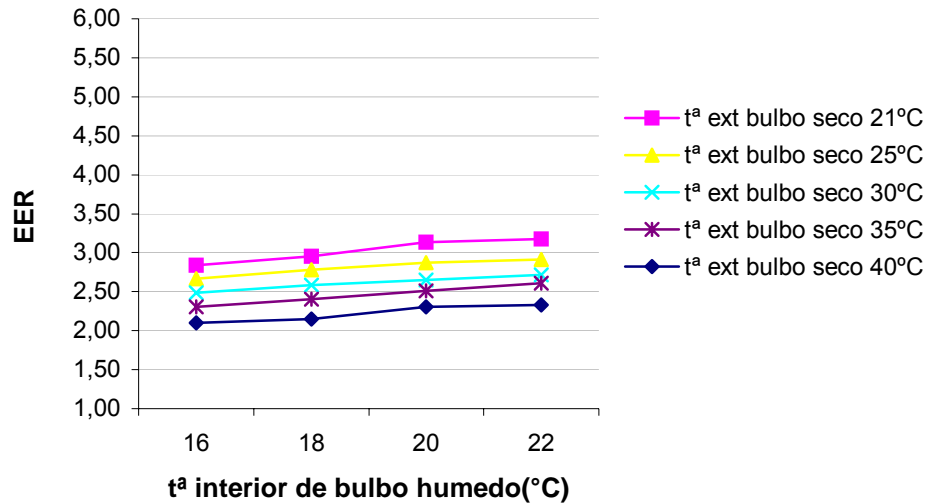


figura 5.43: EER frente la temperatura interior de bulbo húmedo para distintas temperaturas de bulbo seco del aire exterior.

Temperatura del aire exterior (°C)	Tasa de variación de la potencia frigorífica (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la potencia frigorífica (%/°C)	Tasa de variación de la capacidad sensible (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la capacidad sensible (%/°C)	Tasa de variación porcentual del EER (%/°C)
21	0,35	2,82	0,02	0,233	2,27
25	0,33	2,66	0,00	0,000	1,67
30	0,32	2,58	0,02	0,233	1,54
35	0,33	2,66	0,05	0,581	2,01
40	0,32	2,58	0,03	0,349	1,57
Valor medio de la tasa de variación	0,33	2,66	0,02	0,279	1,81

Tabla 5.18: Tasas de variación para la Potencia frigorífica, capacidad sensible y EER respecto la temperatura interior de bulbo húmedo.

Si se representa la potencia frigorífica y la capacidad sensible, respecto la temperatura exterior de bulbo seco, se obtiene que la potencia frigorífica disminuye 0.08 kW y la capacidad sensible 0.03 kW, cuando se aumenta un °C la temperatura exterior de bulbo seco.

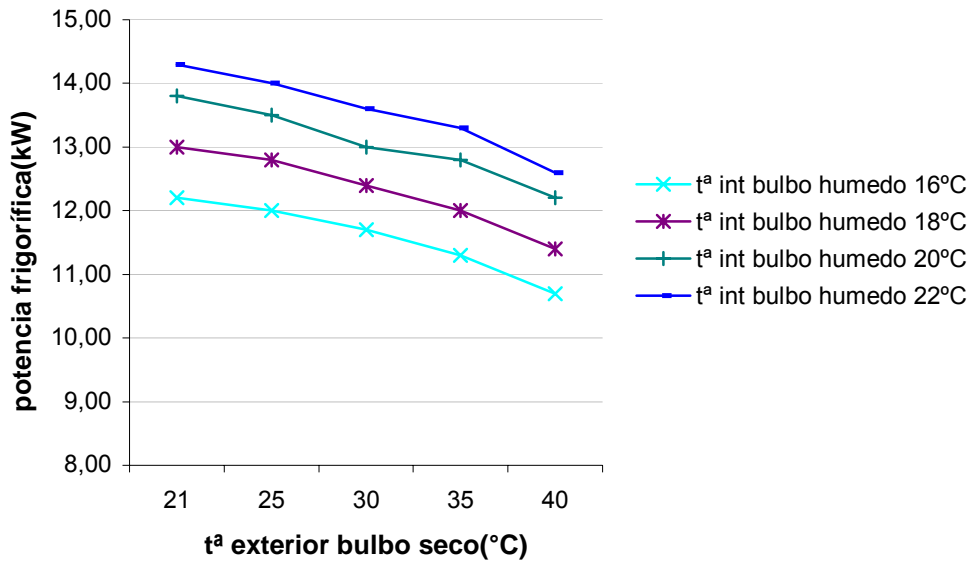


figura 5.44: Potencia frigorífica frente la temperatura exterior de bulbo seco para distintas parejas de valores de temperatura interior de bulbo húmedo-seco.

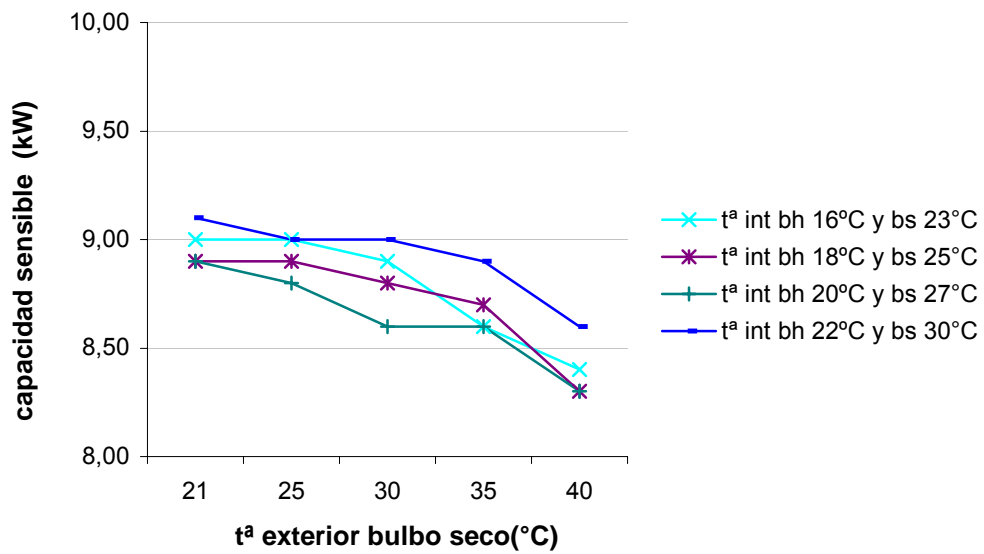


figura 5.45: Capacidad sensible frente la temperatura exterior de bulbo seco para distintas parejas de valores de temperatura interior de bulbo húmedo-seco.

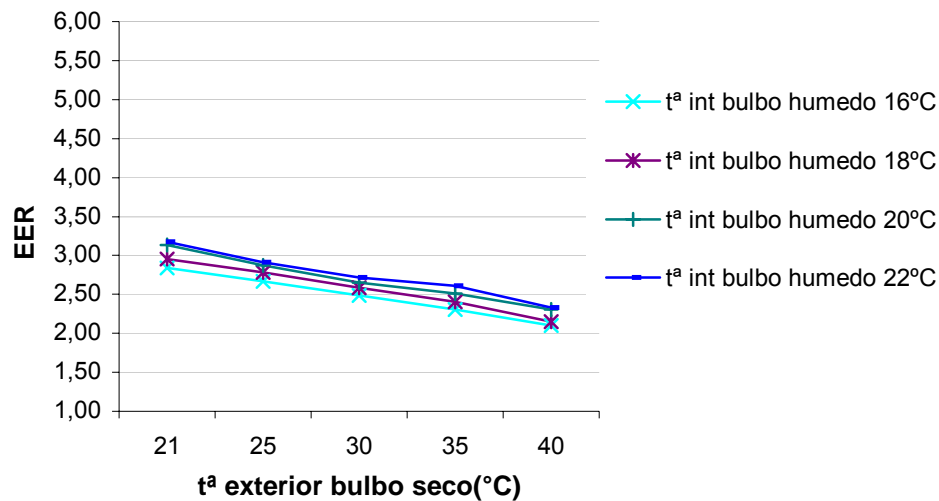


figura 5.46: EER frente a la temperatura exterior de bulbo seco para distintas parejas de valores de temperatura interior de bulbo húmedo-seco.

Temperatura interior bulbo húmedo-seco (°C)	Tasa de variación de la potencia frigorífica (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la potencia frigorífica (%/°C)	Tasa de variación de la capacidad sensible (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la capacidad sensible (%/°C)	Tasa de variación porcentual del EER (%/°C)
16-23	-0,08	-0,65	-0,03	-0,349	-1,56
18-25	-0,08	-0,65	-0,03	-0,349	-1,69
20-27	-0,08	-0,65	-0,03	-0,349	-1,80
22-30	-0,09	-0,73	-0,03	-0,349	-1,82
Valor medio de la tasa de variación	-0,08	-0,67	-0,03	-0,349	-1,72

Tabla 5.19: Tasas de variación para la Potencia frigorífica, capacidad sensible y EER respecto a la temperatura exterior de bulbo seco.

La capacidad de calefacción se da en función de la temperatura interior de bulbo seco y de la temperatura exterior de bulbo húmedo. El valor nominal de la capacidad de calefacción es 15.20 kW. El valor del COP nominal que se ha considerado es 2.8, que es el que dan con temperatura interior de bulbo seco de 20°C y la temperatura húmeda exterior de 5°C.

Si se representa la capacidad de calefacción respecto a la temperatura interior de bulbo seco, de las tasas de variación, se concluye que la capacidad de calefacción disminuye 0.07 kW por cada °C que aumente la temperatura interior de bulbo seco y aumenta 0.33 por cada °C que aumente la temperatura exterior de bulbo húmedo.

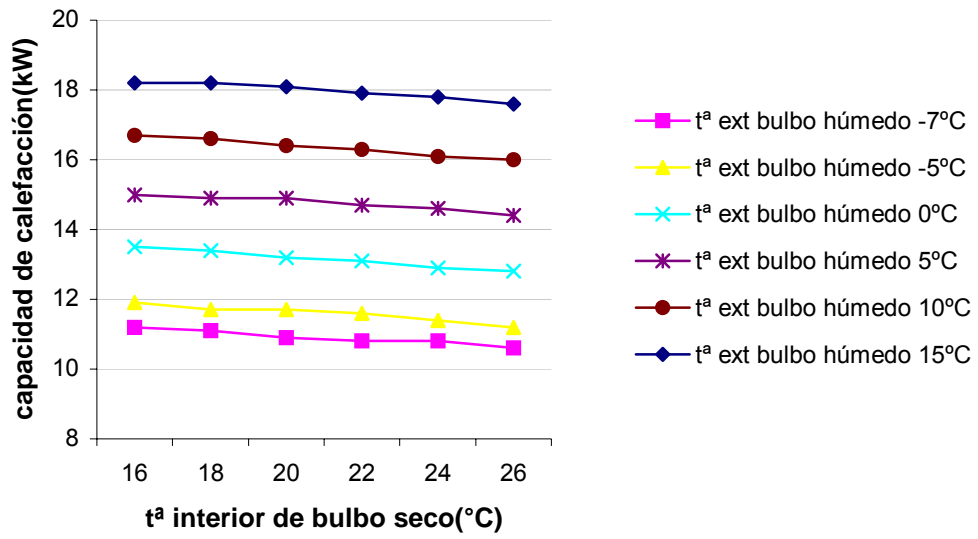


figura 5.47: Capacidad de calefacción frente la temperatura interior de bulbo seco para distintas temperaturas exteriores de bulbo seco.

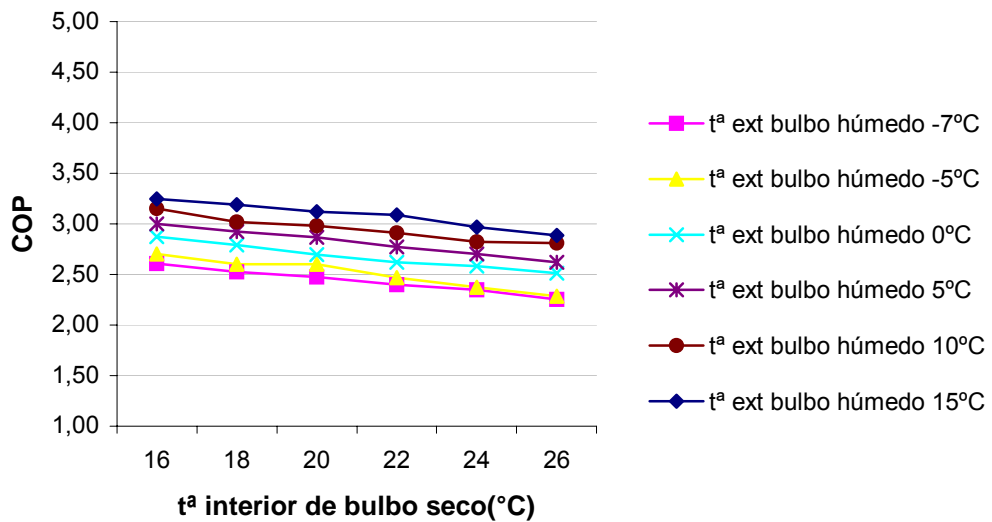


figura 5.48: COP frente la temperatura interior de bulbo seco para distintas temperaturas exteriores de bulbo seco.

Temperatura del aire exterior (°C)	Tasa de variación de la capacidad de calefacción (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la capacidad de calefacción (%/°C)	Tasa de variación porcentual del COP (%/°C)
-7	-0,06	-0,39	-1,22
-5	-0,07	-0,46	-1,46
0	-0,07	-0,46	-1,27
5	-0,06	-0,39	-1,34
10	-0,07	-0,46	-1,20
15	-0,06	-0,39	-1,28
Valor medio de la tasa de variación	-0,07	-0,43	-1,30

Tabla 5.20: Tasas de variación para Capacidad de Calefacción y COP respecto la temperatura interior de bulbo seco.

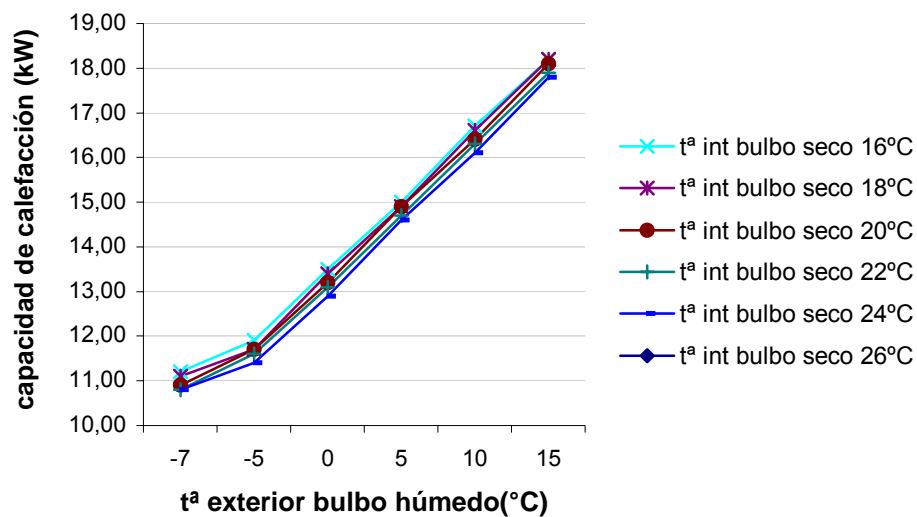


figura 5.49: Capacidad de calefacción frente la temperatura exterior de bulbo húmedo para distintas temperaturas interiores de bulbo seco.

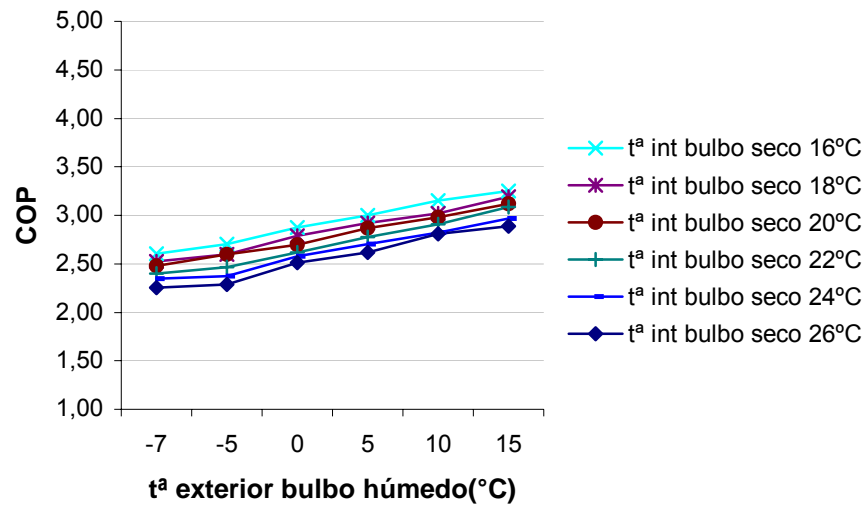


figura 5.50: COP frente la temperatura exterior de bulbo húmedo para distintas temperaturas interiores de bulbo seco.

Temperatura interior bulbo seco (°C)	Tasa de variación de la capacidad de calefacción (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la capacidad de calefacción (%/°C)	Tasa de variación porcentual del COP (%/°C)
16	0,32	2,11	1,11
18	0,32	2,11	1,10
20	0,34	2,24	1,16
22	0,33	2,17	1,10
24	0,32	2,11	0,92
26	0,32	2,11	0,94
Valor medio de la tasa de variación	0,33	2,14	1,06

Tabla 5.21: Tasas de variación para Capacidad de Calefacción respecto la temperatura exterior de bulbo húmedo.

5.1.5. Resultados y comparación de datos

A continuación se representan las tasas de variación y gráficos de las potencias frigoríficas, las capacidades sensibles y EER respecto distintas temperaturas interiores y exteriores.

En las marcas Hitachi y Daikin la potencia frigorífica y la capacidad sensible se da para un valor de la temperatura seca exterior y para una pareja concreta de valores de

temperatura seca y húmeda interior. Lo que hace que no se esté comparando puntos iguales en temperaturas interiores. Para poder dar una comparación estimativa se da el valor de la tasa de variación de la capacidad sensible respecto la temperatura interior de bulbo húmedo y el valor de la tasa de variación de la potencia frigorífica respecto la temperatura interior de bulbo húmedo y respecto la temperatura exterior de bulbo seco.

TASA DE VARIACION PORCENTUAL DE LA POTENCIA FRIGORIFICA RESPECTO LA TEMPERATURA INTERIOR DE BULBO HUMEDO

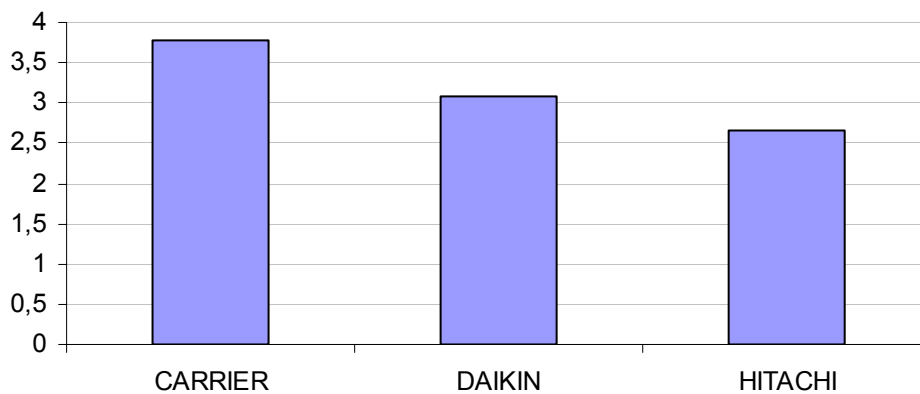


figura 5.51: Representación de la tasa de variación de la potencia frigorífica respecto a la temperatura interior de bulbo húmedo.

TASA DE VARIACION PORCENTUAL DE LA POTENCIA FRIGORIFICA RESPECTO LA TEMPERATURA EXTERIOR DE BULBO SECO

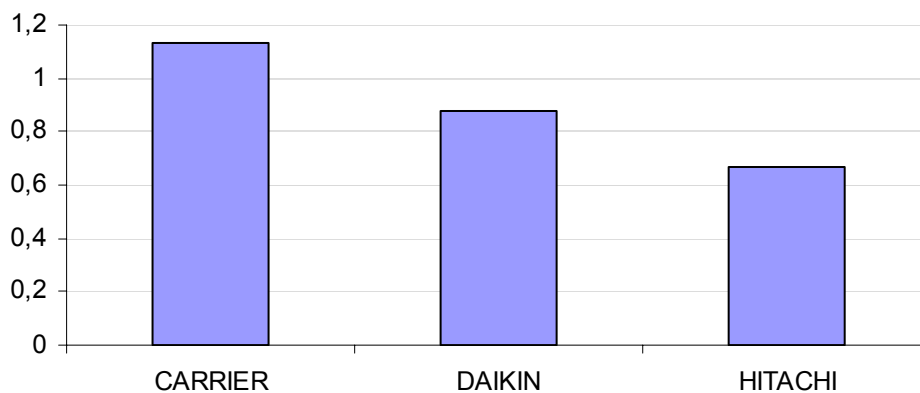


figura 5.52: Representación de la tasa de variación de la potencia frigorífica respecto la temperatura exterior de bulbo seco.

La capacidad sensible se representa a continuación. Hay que tener en cuenta que el valor correspondiente a Carrier se ha obtenido de la capacidad sensible media hallada de todos los valores de temperatura interior de bulbo seco.

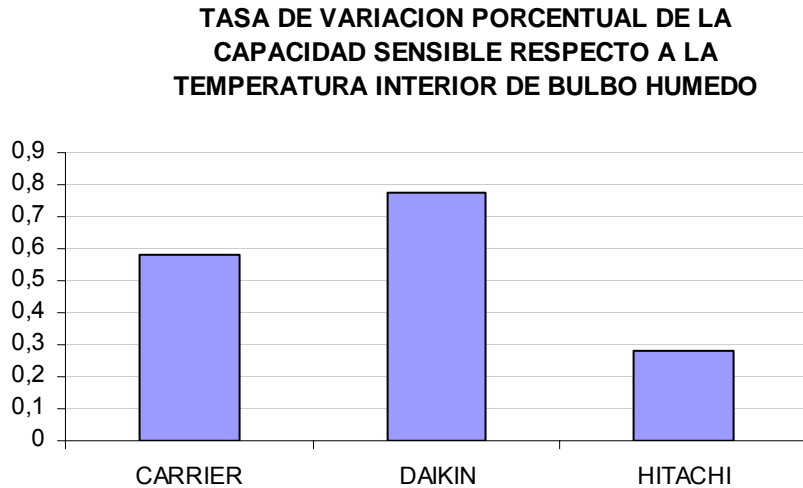


figura 5.53: Representación de la tasa de variación de la capacidad de sensible respecto la temperatura exterior de bulbo húmedo.

La potencia calorífica se da en función de la temperatura exterior de bulbo húmedo y de la temperatura interior de bulbo seco para las tres marcas.

Ahora se representan las tasas de variación de EER. Hay que recordar que en realidad los EER que se comparan no están hallados de igual manera por falta de datos, pero las tasas de variación son muy parecidas a las reales. Así, el EER de Carrier está hallado con el consumo del compresor, el de Daikin con el consumo del compresor y el ventilador y el de Hitachi con el consumo total de la unidad.

TASA DE VARIACION PORCENTUAL DEL EER RESPECTO LA TEMPERATURA INTERIOR DE BULBO HUMEDO

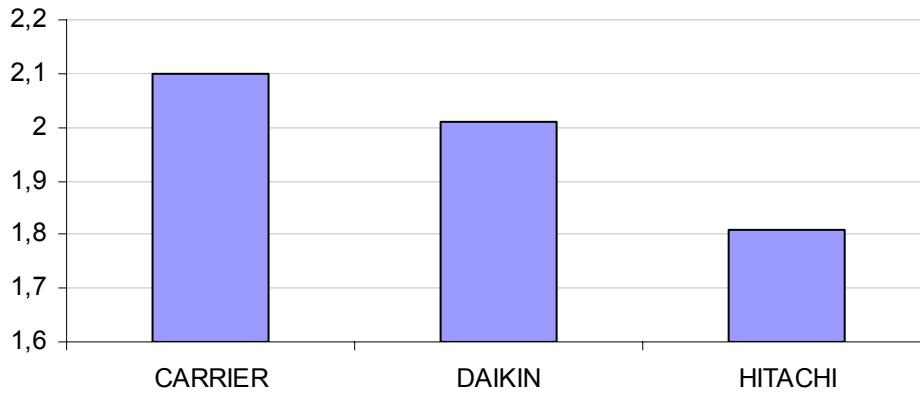


figura 5.54: Representación de la tasa de variación del EER respecto la temperatura interior de bulbo húmedo.

Se representa EER/EERnom donde se puede observar cual de los equipos da más EER sobre el nominal fuera de las condiciones nominales. Respecto la temperatura interior de bulbo húmedo el comportamiento es muy parecido, se distinguen más respecto la temperatura exterior de bulbo seco.

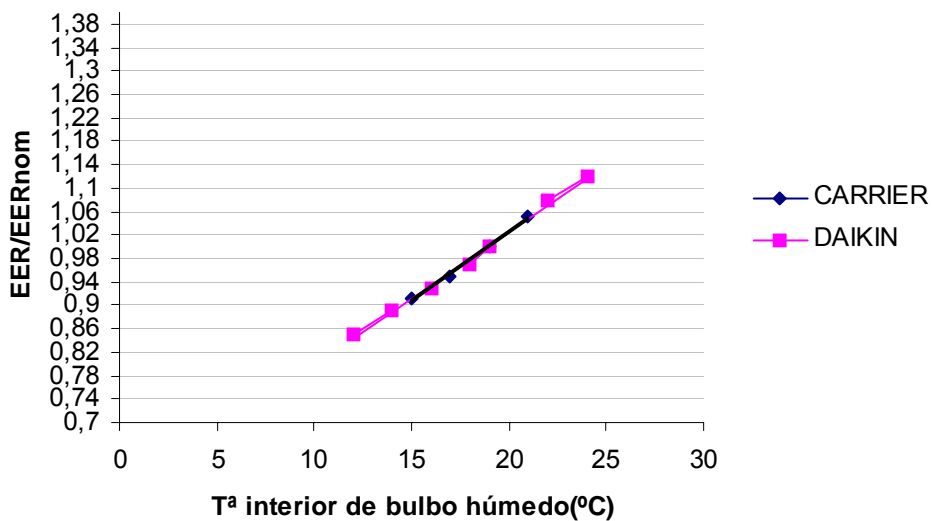


figura 5.55: EER/EER nom frente la temperatura interior de bulbo húmedo.

TASA DE VARIACION PORCENTUAL DEL EER RESPECTO LA TEMPERATURA EXTERIOR DE BULBO SECO

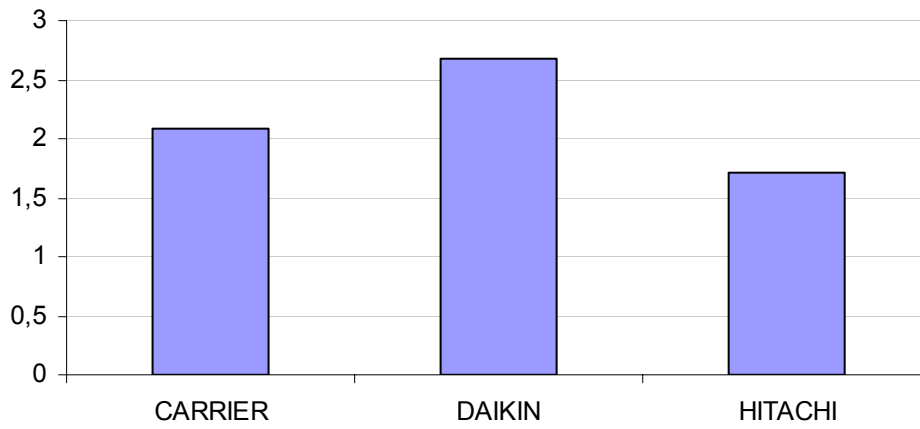


figura 5.56: Representación de la tasa de variación del EER respecto la temperatura exterior de bulbo seco.

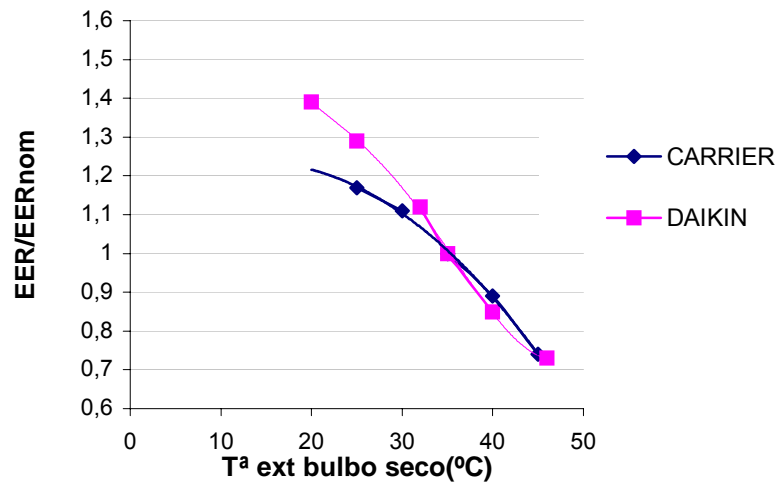


figura 5.57: EER/EER nom frente la temperatura exterior de bulbo seco.

Representando la potencia calorífica respecto la temperatura exterior de bulbo húmedo, queda:

TASA DE VARIACION PORCENTUAL DE LA CAPACIDAD DE CALEFACCION RESPECTO LA TEMPERATURA EXTERIOR DE BULBO HUMEDO

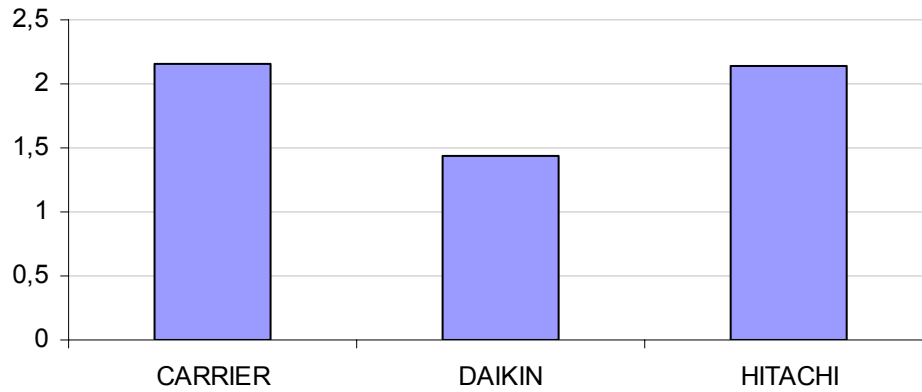


figura 5.58: Representación de la tasa de variación de la capacidad de calefacción respecto la temperatura exterior de bulbo húmedo.

Si se representa ahora la capacidad de calefacción respecto la temperatura interior de bulbo seco, queda:

TASA DE VARIACION DE LA CAPACIDAD DE CALEFACCION RESPECTO A LA TEMPERATURA INTERIOR DE BULBO SECO

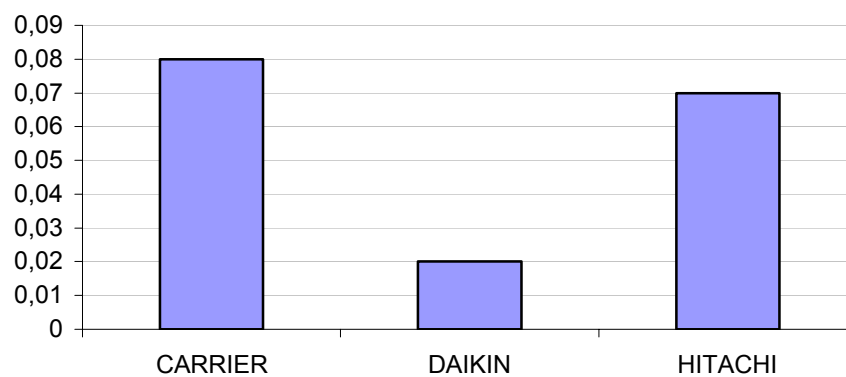


figura 5.59: Representación de la tasa de variación de la capacidad calorífica respecto a la temperatura interior de bulbo seco.

Las tasas de variación del COP que se han representado a continuación están halladas de formas distintas, así en Carrier se halla con la capacidad calorífica instantánea y

consumo efectivo total, el de Daikin se halla con el consumo de compresores y ventiladores y el de Hitachi con la potencia total de entrada.

TASA DE VARIACION PORCENTUAL DEL COP RESPECTO LA TEMPERATURA EXTERIOR DE BULBO HUMEDO

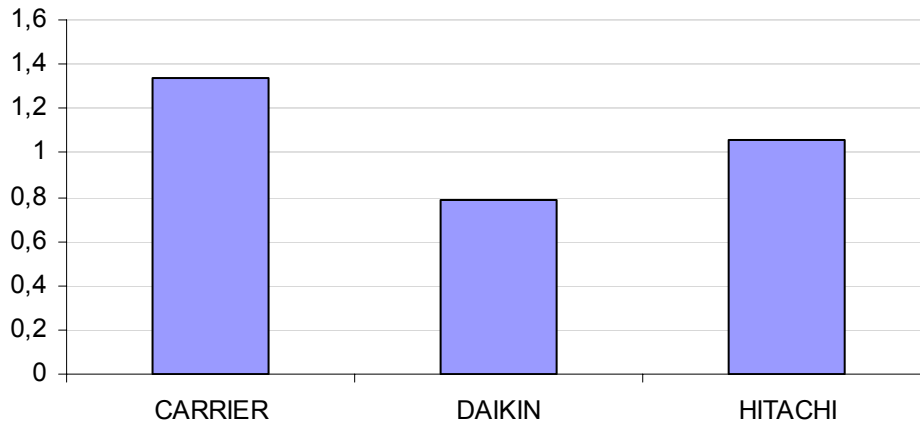


figura 5.60: Tasas de variación del COP frente la temperatura exterior de bulbo húmedo.

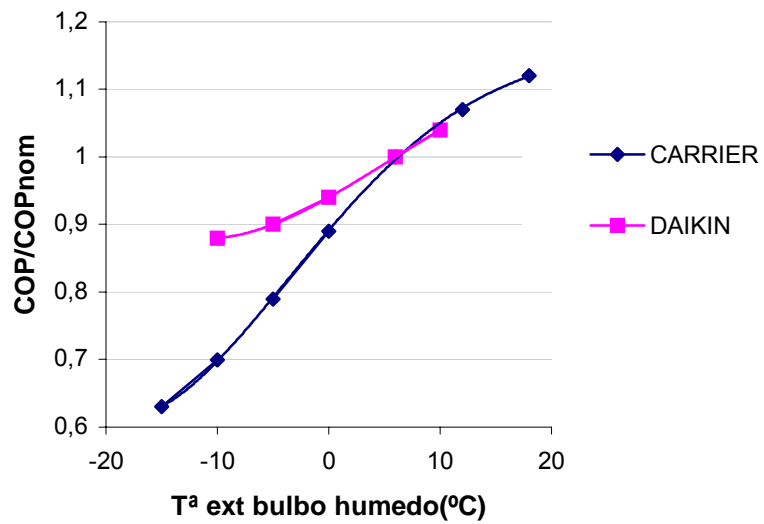


figura 5.61: COP/COP nom frente la temperatura exterior de bulbo húmedo.

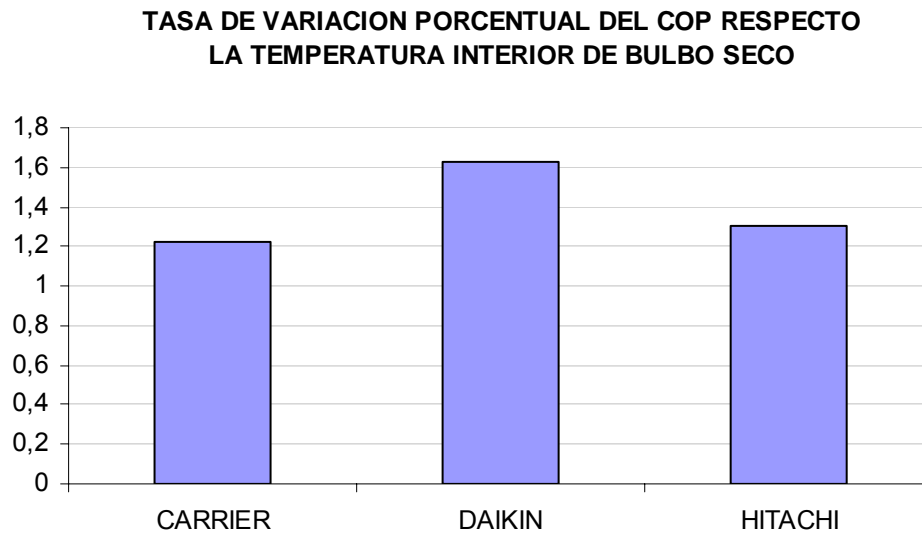


figura 5.62: Representación de la tasa de variación del COP frente la temperatura interior de bulbo seco.

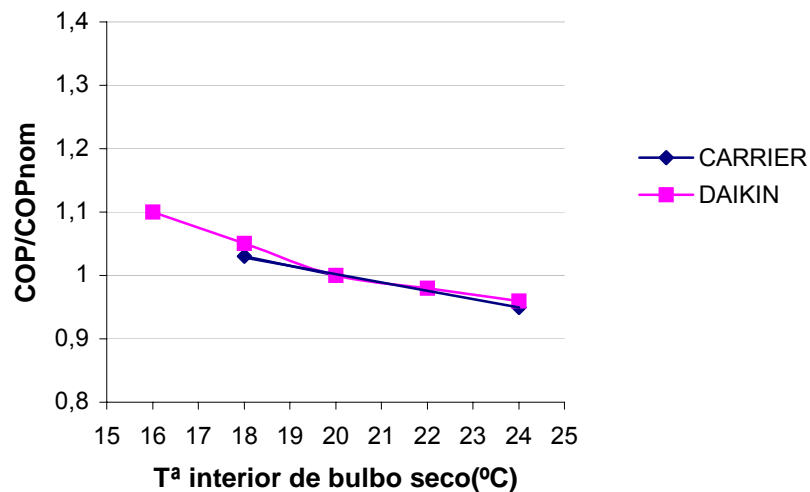


figura 5.63: COP/COP nom frente la temperatura interior de bulbo seco.

5.2. Equipos autónomos reversibles condensados por aire de 3 kW

5.2.1 Casos estudiados

Los equipos a los que se ha realizado el estudio se citan a continuación:

- Equipo autónomo partido de conductos 40SMC012 (unidad interior) y 38BH012G (unidad exterior) de Carrier con una potencia frigorífica de 3.35 kW.

- FQ35B de Daikin con una potencia frigorífica de 3.40 kW.

Los equipos de la marca Hitachi no se han estudiado porque no se han conseguido tablas de capacidades para equipos de tan baja potencia.

5.2.2. Datos de los catálogos

5.2.2.1. Catálogo del equipo 40SMC012 + 38BH012G

Este equipo es un modelo partido para conexión a conductos. Pertenece a la gama teide eco, la cual tiene dos modelos, el 38BH009G (con una capacidad frigorífica nominal de 2.64 kW) y el modelo 38BH012G (con una capacidad frigorífica nominal de 3.35kW).



(a)



(b)

figura 5.64: (a) unidad interior 40SMC012 y (b) unidad exterior 40BH012G reversible condensada por aire de Carrier.

Por orden, se citan a continuación las distintas partes que nos encontramos en el catálogo técnico de Carrier de este equipo:

- Datos físicos. Dentro de este apartado da los siguientes datos:
 - Capacidad frigorífica y calorífica nominal para cada modelo, donde las condiciones nominales se refieren a temperatura seca del aire exterior de 35°C y temperatura húmeda del aire interior de 19°C para refrigeración, y temperatura húmeda del aire exterior de 6°C y temperatura seca de aire interior de 20°C.

MODELO	Capacidad frigorífica nominal (kW)	Capacidad calorífica nominal (kW)
009	2.64	3.20
012	3.35	3.76

Tabla 5.22: capacidades frigoríficas y caloríficas del equipo autónomo reversible condensado por aire 40SMC+38BH de Carrier.

- Consumos en calefacción y refrigeración.
- Límites de temperatura de operación. Para el funcionamiento en refrigeración la temperatura interior mínima es de 19°C de b.s y 14°C b.h, la temperatura máxima es 35°C b.s y 21°C b.h. La temperatura exterior mínima es de 19°C b.s y la máxima de 46°C b.s. En calefacción la temperatura interior mínima de b.s es de -15°C y 24°C la máxima, la temperatura exterior de bulbo húmedo máxima es de 18°C.
- Características técnicas:
 - Peso de la unidad interior.
 - Tipo de batería de la unidad interior (tubos de cobre con aletas de aluminio), área frontal de ésta, el nº de filas, número de aletas por pulgada y conexiones de las tuberías.
 - Datos sobre motor del ventilador de la batería interior: potencia nominal y corriente nominal.
 - Datos sobre el ventilador de la unidad interior: cantidad en cada unidad y diámetro x longitud.
 - Carga de refrigerante R-410a (kg).
 - Características del filtro de aire: cantidad y dimensiones.
- Datos eléctricos.
 - Características nominales de tensión y frecuencia.
 - Consumos y corrientes nominales en refrigeración y calefacción.
 - Consumos y corrientes máximos de la unidad en refrigeración y calefacción.
- Curvas de ventilación: Para el ventilador interior se proporcionan unos gráficos donde se representan la presión estática disponible en función del caudal de aire.

- Tablas de capacidades, para funcionamiento en refrigeración y funcionamiento en calefacción.

Las tablas de capacidad de refrigeración, dan para cada modelo el caudal nominal de aire y en función de la temperatura de bulbo húmedo del aire a la entrada de la unidad interior y de la temperatura de bulbo seco del aire exterior, la capacidad frigorífica total (TC), la capacidad frigorífica sensible (SHC) y el consumo total(kW).

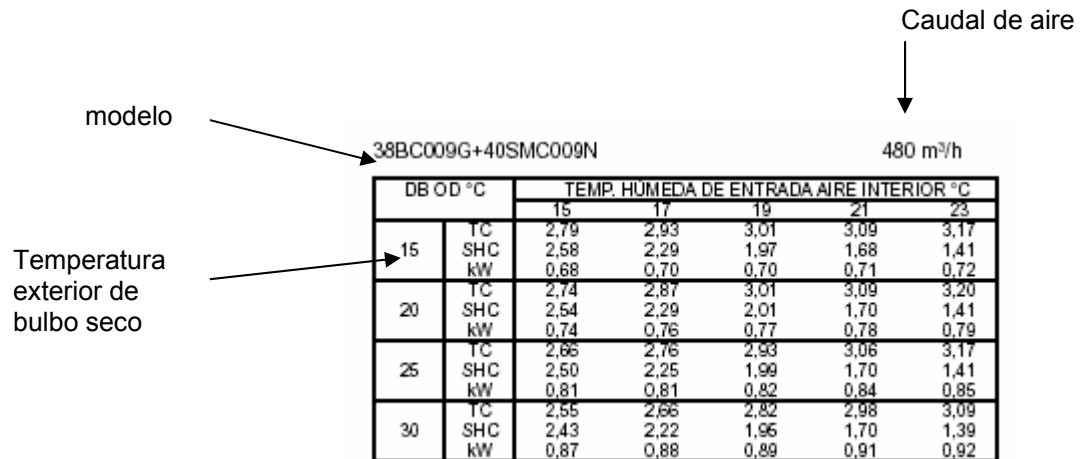


figura 5.65: Tablas de capacidades frigoríficas

Las tablas de capacidades caloríficas, dan para cada modelo y en función de la temperatura de bulbo seco del aire interior y de la temperatura de bulbo húmedo del aire exterior la capacidad calorífica (TH), la capacidad calorífica integrada (THI) y el consumo total(kW).

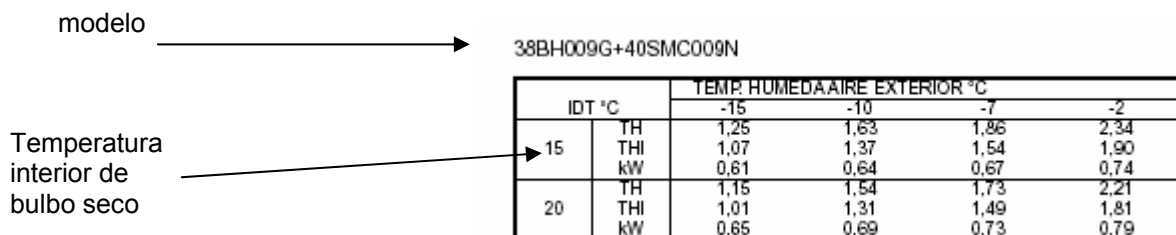


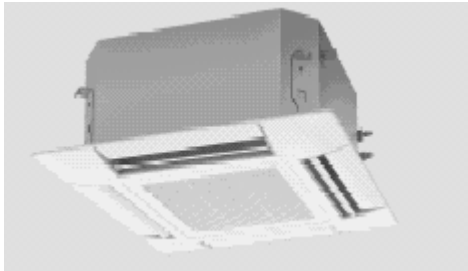
figura 5.66: Tablas de capacidades caloríficas

Se ofrecen los factores de corrección de la capacidad, capacidad sensible y consumo de la unidad según si el ventilador funciona a media, alta o baja velocidad y los factores de corrección según la longitud de tubería entre unidad interior y exterior.

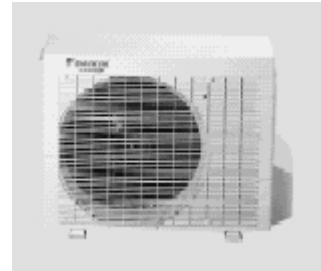
- Dimensiones de la unidad.

5.2.2.2. Catálogo del equipo FQ35B(FFQ35B + RXS35B) de Daikin

Este equipo es un modelo partido con unidad interior de cassette y tiene tecnología Inverter. Esta gama presenta cuatro modelos, que van del FQ25B (con una capacidad frigorífica nominal de 2.5 kW), hasta el modelo FQ60B (con una capacidad frigorífica nominal de 6.8 kW).



(a)



(b)

figura 5.67: (a) unidad interior FFQ35B y (b) unidad exterior RXS35B reversible condensada por aire de Daikin.

Por orden, se citan a continuación las distintas partes que nos encontramos en el catálogo técnico de Daikin de este equipo:

- Características más señaladas del equipo.
- Datos físicos. Dentro de este apartado da los siguientes datos:
 - Capacidad frigorífica y calorífica para cada modelo, estas capacidades son totales, donde se ha tenido en cuenta la variación de la capacidad a causa de el calor desprendido por el motor del ventilador interior.

MODELO	Capacidad frigorífica nominal (kW)	Capacidad calorífica nominal (kW)
25	2,5	3,2
35	3,4	4,5
50	4,7	5,5
60	5,8	7

Tabla 5.23: capacidades frigoríficas y caloríficas del equipo autónomo reversible condensado por aire FQ*B.

- Consumo de la unidad en refrigeración y calefacción.
- Valores del EER y COP.
- Etiqueta de eficiencia energética, en refrigeración y calefacción.

- Consumo anual de energía.
- Especificaciones técnicas de la unidad interior:
 - Dimensiones y peso de la unidad interior.
 - Material y color de la unidad interior.
 - Presión acústica en refrigeración y calefacción a nivel alto y bajo.
 - Potencia acústica.
 - Datos sobre el ventilador de la batería interior: caudal de aire alto y bajo, potencia del motor y número.
 - Tipo de batería de la unidad interior, número de filas x etapas x paso de aletas y superficie.
 - Control de dirección de aire.
 - Diámetro de las conexiones a las tuberías.
 - Material de aislamiento de la unidad interior.
- Planos de dimensiones de la unidad interior.
- Diagramas de tuberías de la unidad interior.
- Diagramas de cableado de la unidad interior.
- Datos del nivel acústico y gráficos de espectro de presión acústica.
- Patrones de flujo de aire.
- Accesorios y opciones de la unidad interior.
- Sistema de control.
- Instrucciones de instalación de la unidad interior.
- Especificaciones técnicas de la unidad exterior:
 - Dimensiones, peso, material y color de la unidad exterior.
 - Nivel de presión y potencia acústica de la unidad exterior para refrigeración y calefacción.
 - Datos sobre el ventilador: caudal de aire alto, cantidad y potencia del motor del ventilador.
 - Tipo de batería de la unidad exterior, número de filas x etapas x paso de aletas y superficie.

- Carga de refrigerante (R-410a), distancia mínima y máxima entre la unidad interior y la unidad exterior, diferencia de nivel máxima permitida, carga adicional de refrigerante y tipo de control de refrigerante.
- Datos sobre el compresor (rotativo herméticamente sellado), cantidad, potencia del motor, tipo de aceite, volumen de carga de aceite.
- Diámetros de las conexiones de tuberías.
- Material de aislamiento.
- Datos eléctricos.
 - Voltaje y frecuencia nominal de funcionamiento.
 - Corriente nominal de funcionamiento en frío y calor para la unidad interior y exterior, y la intensidad de arranque.
 - Rango de voltaje, corriente mínima del circuito, intensidad máxima del fusible, intensidad nominal del compresor, consumo del motor del ventilador interior y exterior, y corriente del motor del ventilador funcionando a plena carga.
- Tablas de capacidades, para funcionamiento en refrigeración y funcionamiento en calefacción.

Las tablas de capacidad de refrigeración, dan para cada modelo y en función de la temperatura de bulbo húmedo o bulbo seco del aire a la entrada de la unidad interior y de la temperatura de bulbo seco del aire exterior, la capacidad frigorífica total (TC), capacidad de calor sensible (SHC) y el consumo de la unidad(PI), que incluye los consumos de el compresor y los motores de los ventiladores interior y exterior.

Ofrecen una fórmula para corregir la capacidad sensible para otros valores de temperatura de bulbo seco o húmedo del aire de entrada distintos a los tabulados y se dan los valores del caudal de aire y del factor de by-pass.

Interior		20			25		
BWB (°C)	EDB (°C)	TC	SHC	PI	TC	SHC	PI
140	20	2.33	1.58	0.52	2.25	1.52	0.58
160	22	2.51	1.70	0.53	2.43	1.65	0.59
180	25	2.70	1.83	0.54	2.61	1.77	0.61
190	27	2.80	1.89	0.55	2.70	1.83	0.61
220	30	3.09	2.09	0.56	2.99	2.02	0.63

figura 5.68: Tablas de capacidades frigoríficas

Las tablas de capacidades caloríficas, dan para cada modelo y en función de la temperatura de bulbo seco del aire interior y de la temperatura de bulbo húmedo del aire exterior la capacidad calorífica (TC) y el consumo total(PI). También se ofrece el valor del caudal de aire.

Interior (°C)	Temperatura exterior (°C)					
	-10		-5		0	
	TC	H	TC	PI	TC	PI
16.0	1.95	0.68	2.41	0.74	2.88	0.80
18.0	1.93	0.71	2.40	0.77	2.86	0.83
20.0	1.91	0.75	2.38	0.81	2.84	0.86
21.0	1.91	0.76	2.37	0.82	2.83	0.88
22.0	1.90	0.78	2.36	0.84	2.83	0.90
24.0	1.88	0.82	2.34	0.87	2.81	0.93

figura 5.69: Tablas de capacidades caloríficas

- Planos de dimensiones de la unidad exterior.
- Gráficos de los límites de funcionamiento en refrigeración y calefacción.
- Diagramas de tuberías de la unidad exterior.
- Diagramas de cableado de la unidad exterior.
- Datos del nivel acústico y gráficos de espectro de presión acústica.
- Accesorios y opciones de la unidad exterior.
- Instrucciones de instalación de la unidad exterior.

5.2.3. Comparación de datos disponibles en los catálogos

Tras el estudio de estos catálogos las diferencias que se han encontrado son:

- La capacidad sensible de Carrier la dan sólo en función de la temperatura interior de bulbo húmedo y la temperatura exterior de bulbo seco, mientras que la de Daikin la dan en función de estos dos parámetros y la temperatura exterior de bulbo seco. El inconveniente que se presenta con esto es no se conoce el punto de entrada de Carrier, por lo que hará imposible comparaciones reales entre estos equipos.
- En el equipo de Daikin dan la potencia consumida en refrigeración , se entiende como la potencia total, pero no se especifica en el catálogo que sea esto. En Carrier, se

da un consumo total, pero no se indica tampoco si coincide con la potencia absorbida útil de Eurovent.

- El caudal de aire, Carrier, en su catálogo, lo da en m^3/h , pero no indica si este caudal se refiere a la unidad interior o exterior, se entiende que es de la unidad interior. En Daikin, el caudal se da en m^3/min y tampoco indica a que unidad se refiere.
- La capacidad sensible de Daikin dan la posibilidad de corregirla por una fórmula para otras temperaturas interiores de bulbo seco distintas a las tabuladas, en Carrier no existe esta posibilidad ya que ni siquiera dan la temperatura interior de bulbo seco a la que está tomada la capacidad sensible.
- Daikin ofrece el factor de bypass, en Carrier no se da.
- En el catálogo de Carrier, las condiciones nominales de calefacción en vez de darlas para 6°C de temperatura húmeda exterior la señalan en 7°C de bulbo húmedo. Por lo tanto el valor que se da, en realidad no es el nominal.

5.2.4. Representación de datos

5.2.4.1. Modelo 40SMC012+38BH012G de Carrier.

La potencia frigorífica, la capacidad sensible y el consumo total en refrigeración se da para una temperatura exterior de bulbo seco y para una temperatura interior de bulbo húmedo. La temperatura interior de bulbo seco no se indica en el catálogo.

Representando la potencia frigorífica, la capacidad sensible y el consumo total respecto la temperatura interior de bulbo húmedo, se obtiene que al aumentar un $^\circ\text{C}$ la temperatura interior de bulbo húmedo aumenta en 0.11 kW la potencia frigorífica y 0.01 el consumo total, sin embargo la capacidad sensible disminuye en 0.16 kW.

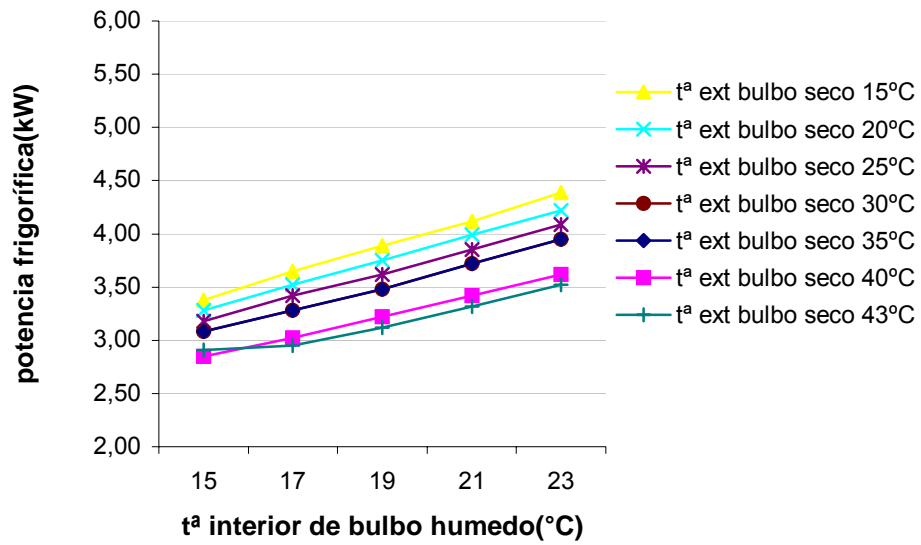


figura 5.70: Potencia frigorífica frente la temperatura interior de bulbo húmedo para distintas temperaturas de bulbo seco del aire exterior.

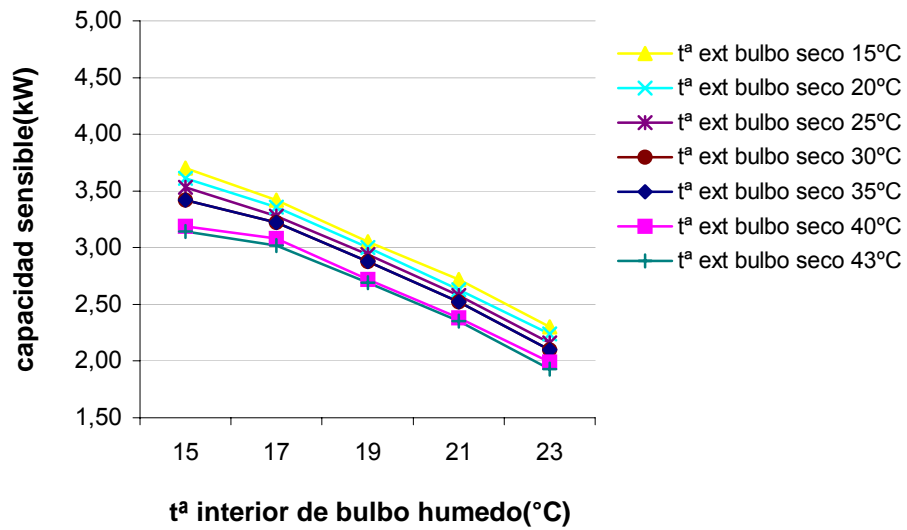


figura 5.71: Capacidad sensible frente la temperatura interior de bulbo húmedo para distintas temperaturas de bulbo seco del aire exterior.

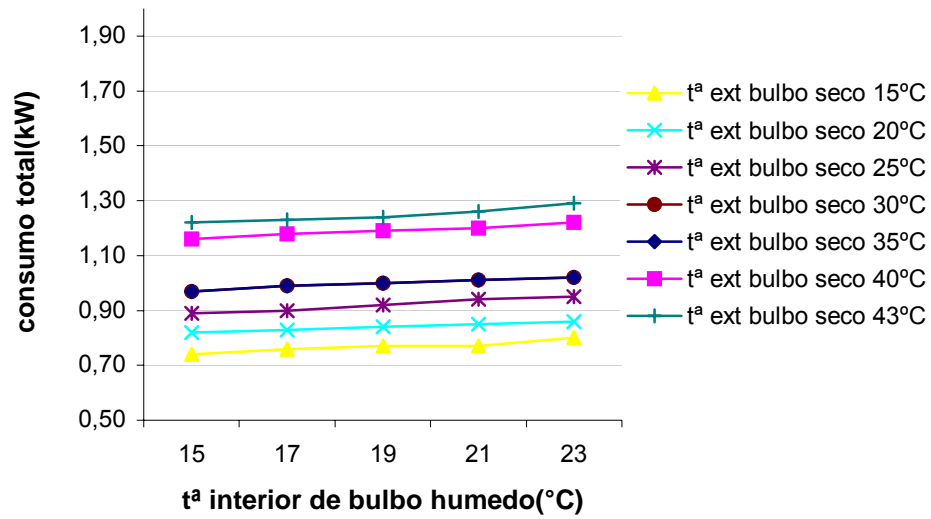


figura 5.72: Consumo total en refrigeración frente la temperatura interior de bulbo húmedo para distintas temperaturas de bulbo seco del aire exterior.

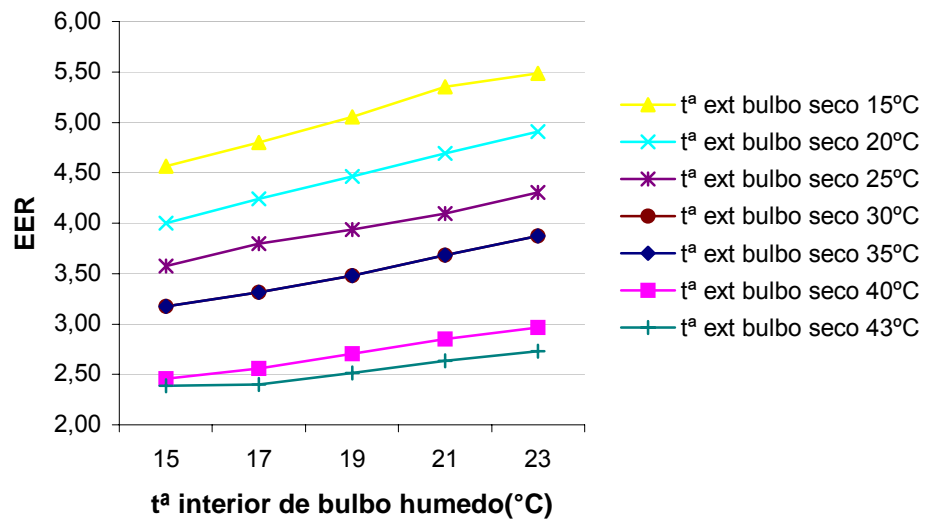


figura 5.73: EER frente la temperatura interior de bulbo húmedo para distintas temperaturas de bulbo seco del aire exterior

Los valores nominales que se han usado para hallar las tasas de variación porcentual, son: para la capacidad total 3.35kW, el consumo total 1.09 kW, la capacidad sensible 2.8 kW y el EER 3.07.

Temperatura del aire exterior (°C)	Tasa de variación de la potencia frigorífica (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la potencia frigorífica (%/°C)	Tasa de variación del Consumo total (kW/°C)	Tasa de variación porcentual del Consumo total (%/°C)	Tasa de variación de la capacidad sensible (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la capacidad sensible (%/°C)	Tasa de variación porcentual del EER (%/°C)
15	0,13	3,88	0,01	0,917	-0,18	-6,429	3,75
20	0,12	3,58	0,01	0,917	-0,17	-6,071	3,69
25	0,11	3,28	0,01	0,917	-0,17	-6,071	2,98
30	0,11	3,28	0,01	0,917	-0,17	-6,071	2,84
35	0,10	2,99	0,01	0,917	-0,16	-5,714	2,33
40	0,10	2,99	0,01	0,917	-0,15	-5,357	2,08
43	0,08	2,39	0,01	0,917	-0,15	-5,357	1,40
Valor medio de la tasa de variación	0,11	3,20	0,01	0,917	-0,16	-5,867	2,72

Tabla 5.24: Tasas de variación para la Potencia frigorífica, la capacidad sensible, consumo total y EER respecto la temperatura interior de bulbo húmedo.

A continuación, se representa las mismas características del equipo, pero respecto a la temperatura exterior de bulbo seco. Se obtiene que la potencia frigorífica disminuye 0.03 kW y la capacidad sensible 0.01 kW, cuando se aumenta un °C la temperatura exterior de bulbo seco, el consumo total aumenta en 0.02 kW.

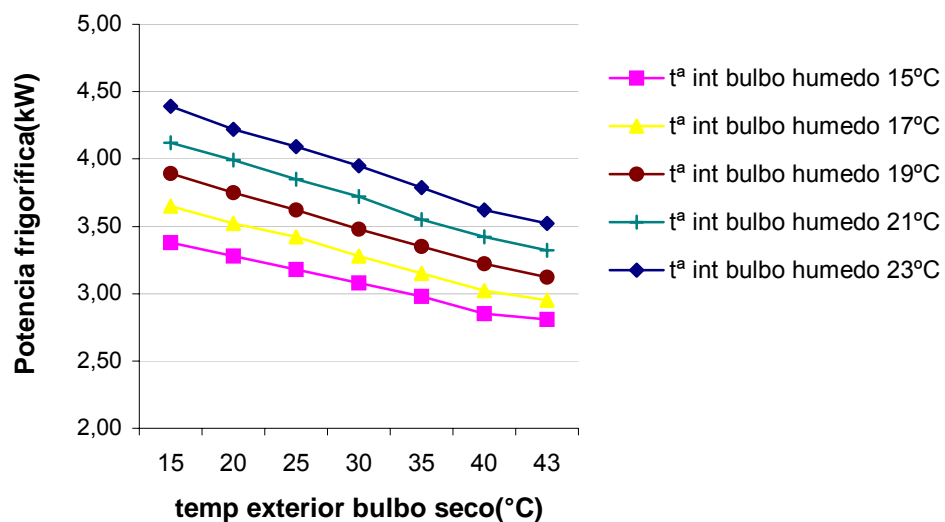


figura 5.74: Potencia frigorífica frente a la temperatura exterior de bulbo seco para distintos valores de temperatura interior de bulbo húmedo.

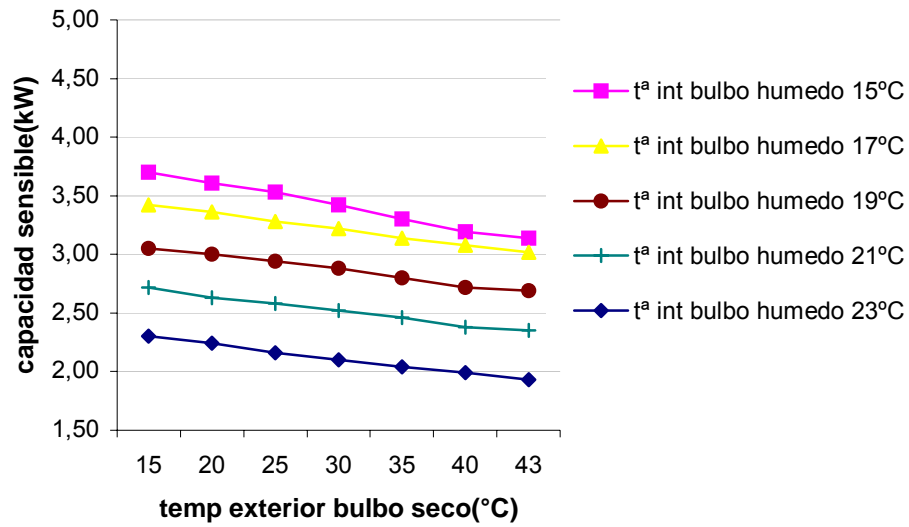


figura 5.75: Capacidad sensible frente la temperatura exterior de bulbo seco para distintos valores de temperatura interior de bulbo húmedo.

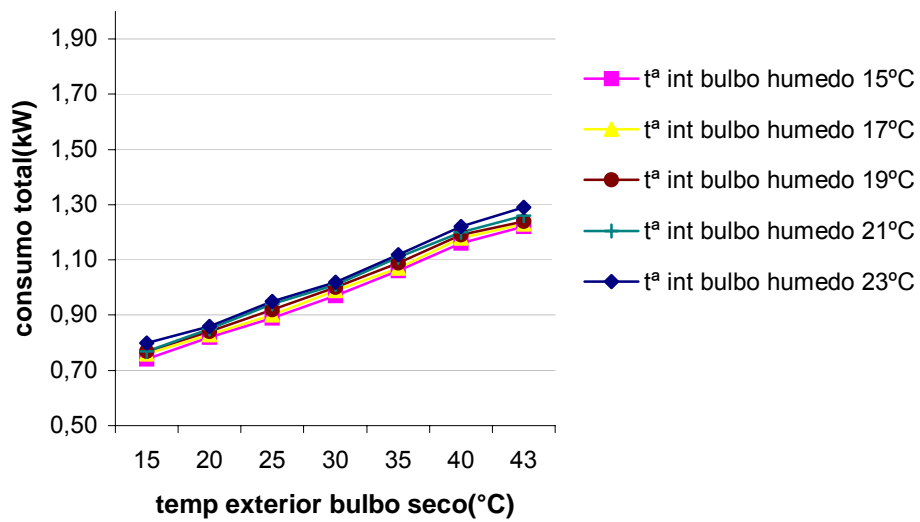


figura 5.76: Consumo total frente la temperatura exterior de bulbo seco para distintos valores de temperatura interior de bulbo húmedo.

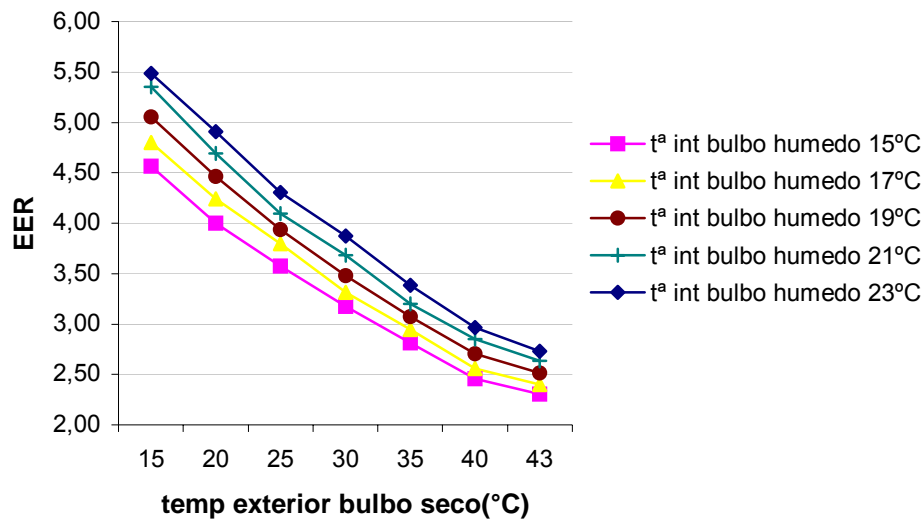


figura 5.77: Consumo total frente a la temperatura exterior de bulbo seco para distintos valores de temperatura interior de bulbo húmedo.

Temperatura interior bulbo húmedo (°C)	Tasa de variación de la potencia frigorífica (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la potencia frigorífica (%/°C)	Tasa de variación del Consumo total (kW/°C)	Tasa de variación porcentual del Consumo total (%/°C)	Tasa de variación de la capacidad sensible (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la capacidad sensible (%/°C)	Tasa de variación porcentual del EER (%/°C)
15	-0,02	-0,60	0,02	1,835	-0,02	-0,714	-2,57
17	-0,02	-0,60	0,02	1,835	-0,01	-0,357	-2,73
19	-0,03	-0,90	0,02	1,835	-0,01	-0,357	-2,89
21	-0,03	-0,90	0,02	1,835	-0,01	-0,357	-3,10
23	-0,03	-0,90	0,02	1,835	-0,01	-0,357	-3,17
Valor medio de la tasa de variación	-0,03	-0,78	0,02	1,835	-0,01	-0,429	-2,89

Tabla 5.25: Tasas de variación para la potencia frigorífica, la capacidad sensible, consumo total y EER en refrigeración respecto a la temperatura exterior de bulbo seco.

La capacidad de calefacción y el consumo total en calefacción se da en función de la temperatura interior de bulbo seco y de la temperatura exterior de bulbo húmedo.

Si se representa la capacidad de calefacción y el consumo total respecto a la temperatura interior de bulbo seco, de las tasas de variación, se concluye que la capacidad de calefacción disminuye 0.01 kW y el consumo total aumenta 0.02 por cada °C que aumente la temperatura interior de bulbo seco.

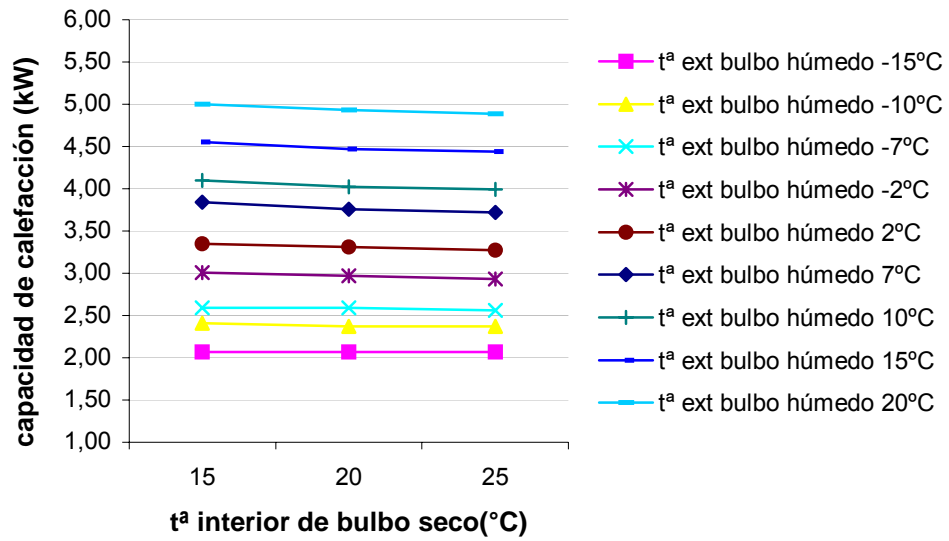


figura 5.78: Capacidad de calefacción frente la temperatura interior de bulbo seco para distintas temperaturas exteriores de bulbo seco.

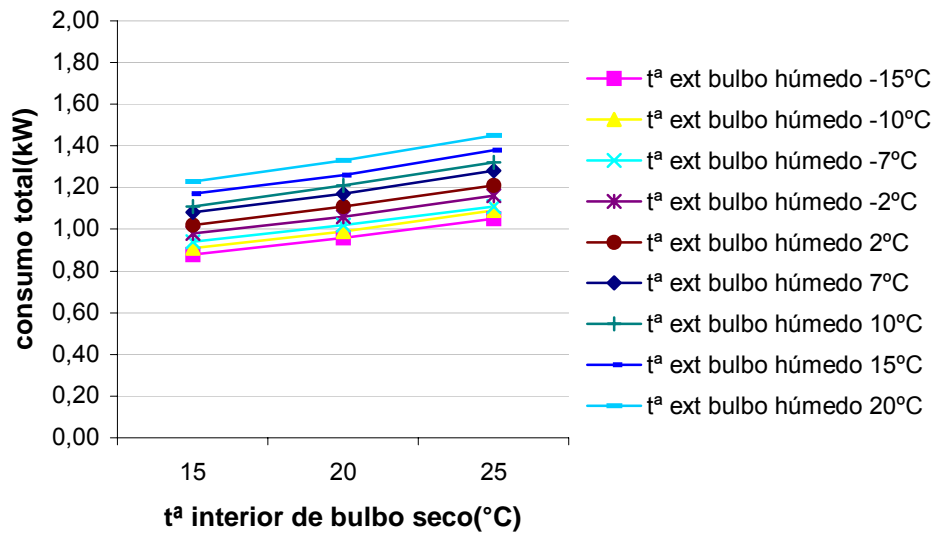


figura 5.79: Consumo total frente la temperatura interior de bulbo seco para distintas temperaturas exteriores de bulbo húmedo.

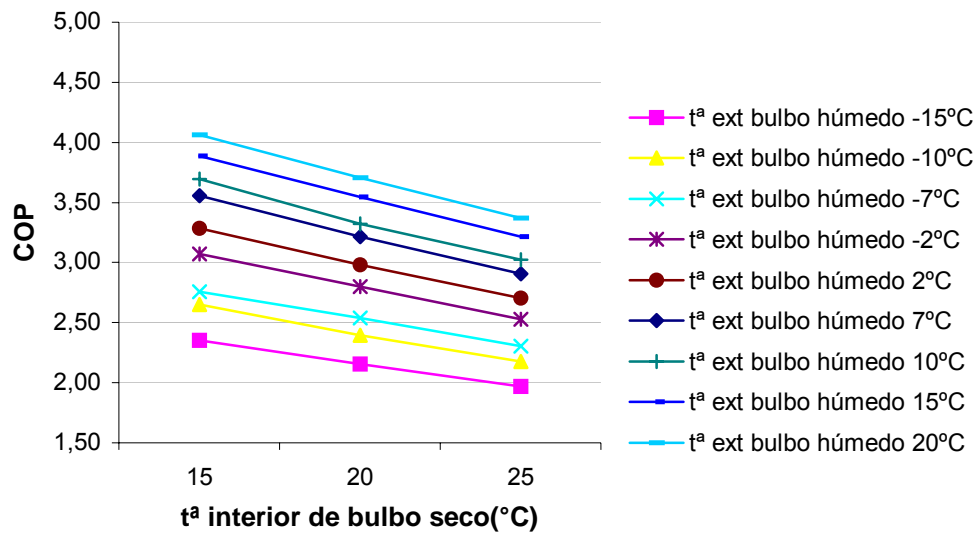


figura 5.80: COP frente la temperatura interior de bulbo seco para distintas temperaturas exteriores de bulbo húmedo.

Las tasas de variación porcentual siguiente se han hallado con una capacidad nominal (aunque en realidad no es nominal porque no se ha hallado a 6°C de temperatura exterior húmeda) de 3.76 kW, el consumo total es de 1.17 kW, y el COP de 3.21.

Temperatura exterior de bulbo húmedo (°C)	Tasa de variación de la capacidad de calefacción (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la capacidad de calefacción (%/°C)	Tasa de variación del Consumo total (kW/°C)	Tasa de variación porcentual del Consumo total (%/°C)	Tasa de variación porcentual del COP (%/°C)
-15	0,00	0,00	0,02	1,709	-1,19
-10	0,00	0,00	0,02	1,709	-1,48
-7	0,00	0,00	0,02	1,709	-1,40
-2	-0,01	-0,27	0,02	1,709	-1,70
2	-0,01	-0,27	0,02	1,709	-1,81
7	-0,01	-0,27	0,02	1,709	-2,02
10	-0,01	-0,27	0,02	1,709	-2,09
15	-0,01	-0,27	0,02	1,709	-2,09
20	-0,01	-0,27	0,02	1,709	-2,16
Valor medio de la tasa de variación	-0,01	-0,18	0,02	1,709	-1,77

Tabla 5.26: Tasas de variación para capacidad de calefacción, consumo total y COP respecto la temperatura interior de bulbo seco.

Si se representa la capacidad de calefacción y el consumo total frente la temperatura exterior de bulbo húmedo, se obtiene que la capacidad de calefacción aumenta en 0.08 kW y el consumo total en calefacción aumenta en 0.01 kW, conforme aumenta la temperatura exterior de bulbo húmedo.

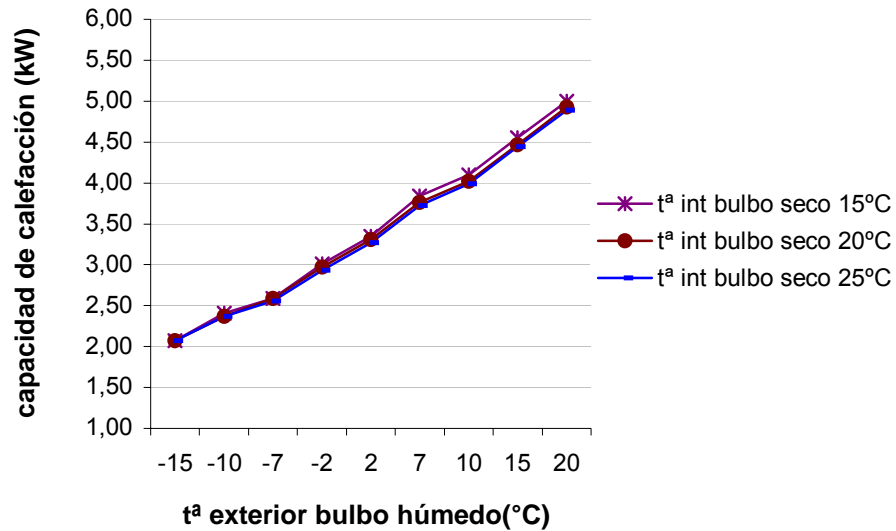


figura 5.81: Capacidad de calefacción frente la temperatura exterior de bulbo húmedo para distintas temperaturas interiores de bulbo seco.

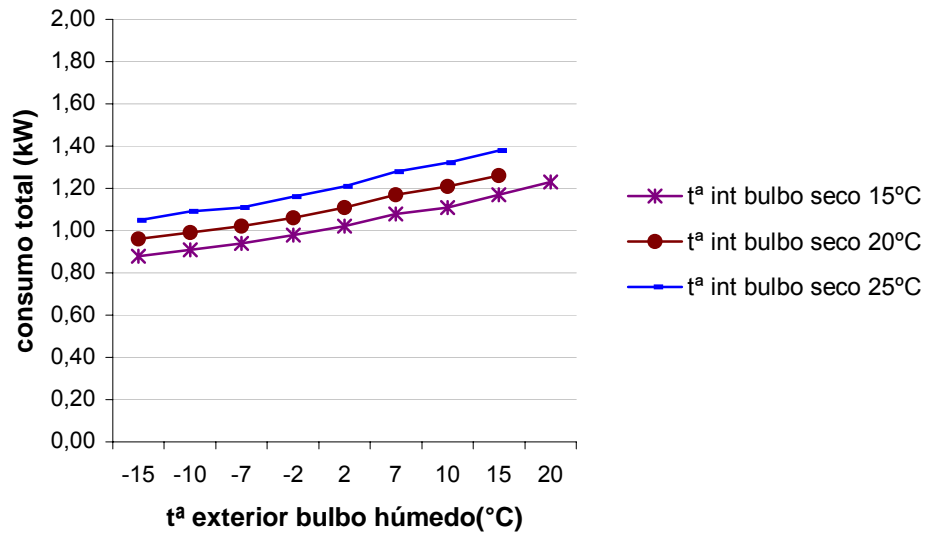


figura 5.82: Consumo total en calefacción frente la temperatura exterior de bulbo húmedo para distintas temperaturas interiores de bulbo seco.

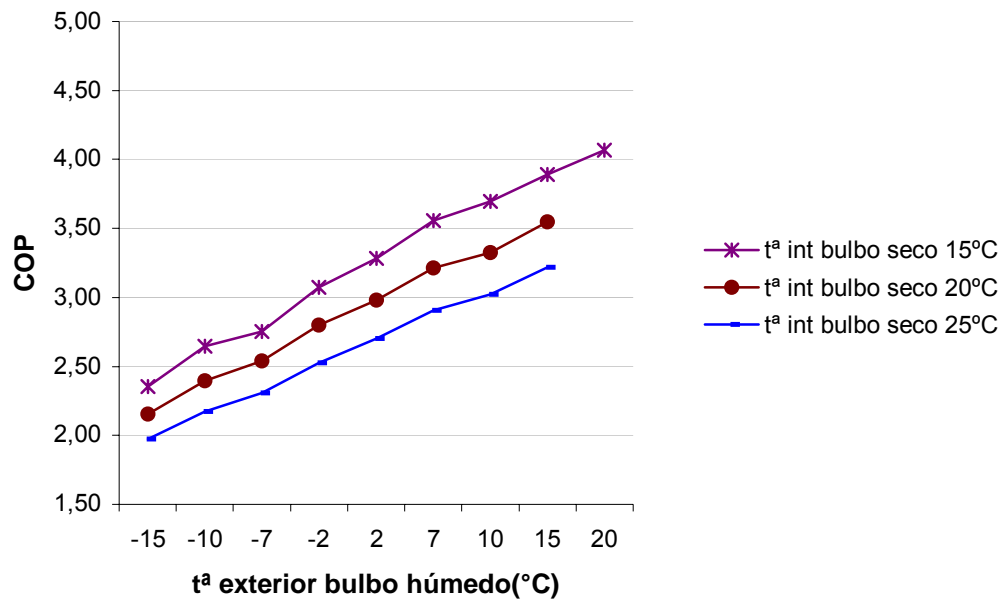


figura 5.83: COP frente a la temperatura exterior de bulbo húmedo para distintas temperaturas interiores de bulbo seco.

Temperatura interior bulbo seco (°C)	Tasa de variación de la capacidad de calefacción (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la capacidad de calefacción (%/°C)	Tasa de variación del Consumo total (kW/°C)	Tasa de variación porcentual del Consumo total (%/°C)	Tasa de variación porcentual del COP (%/°C)
15	0,08	2,13	0,01	0,855	1,50
20	0,08	2,13	0,01	0,855	1,37
25	0,08	2,13	0,01	0,855	1,25
Valor medio de la tasa de variación	0,08	2,13	0,01	0,855	1,37

Tabla 5.27: Tasas de variación para capacidad de calefacción, consumo total y COP en calefacción respecto a la temperatura exterior de bulbo húmedo.

5.2.4.2. Modelo 35RXS+FFQ35B de Daikin

La potencia frigorífica, la capacidad sensible y el consumo (compresor más consumo de los ventiladores) en refrigeración, se da para una temperatura exterior de bulbo seco y para una pareja de temperaturas interiores formada por una temperatura interior de bulbo húmedo y de bulbo seco.

Representando la potencia frigorífica, la capacidad sensible y el consumo respecto a la temperatura interior de bulbo húmedo, se obtiene que al aumentar un °C la temperatura

interior de bulbo húmedo aumenta en 0.12 kW la potencia frigorífica, 0.01 el consumo y 0.09 kW la capacidad sensible.

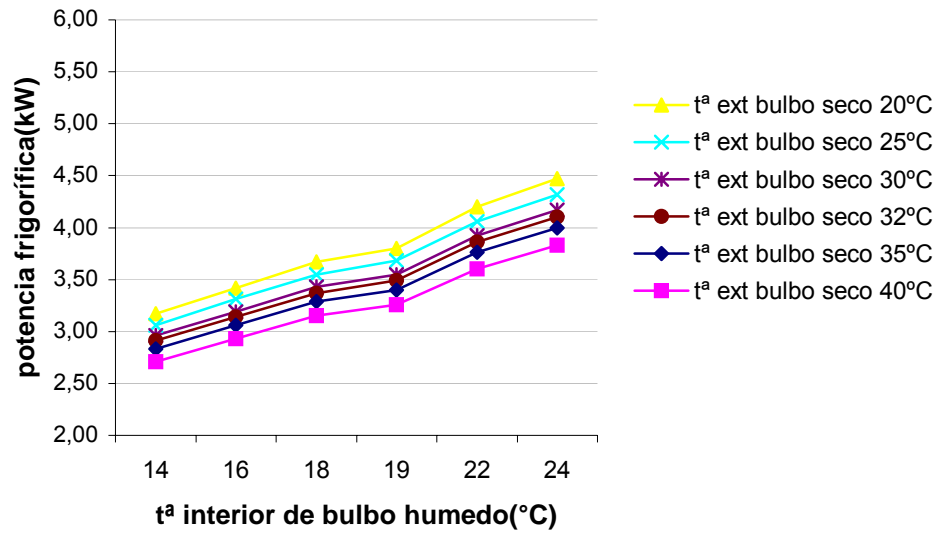


figura 5.84: Potencia frigorífica frente la temperatura interior de bulbo húmedo para distintas temperaturas de bulbo seco del aire exterior.

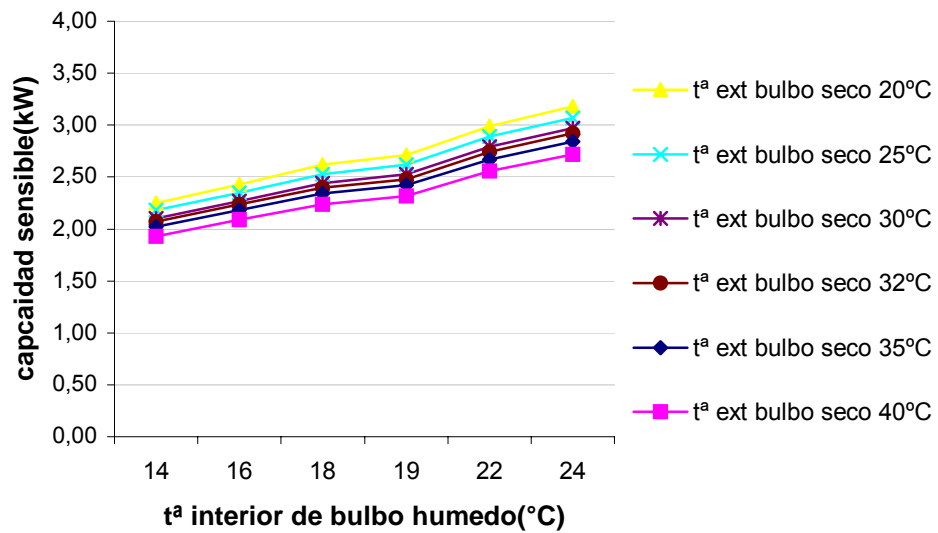


figura 5.85: Capacidad sensible frente la temperatura interior de bulbo húmedo para distintas temperaturas de bulbo seco del aire exterior.

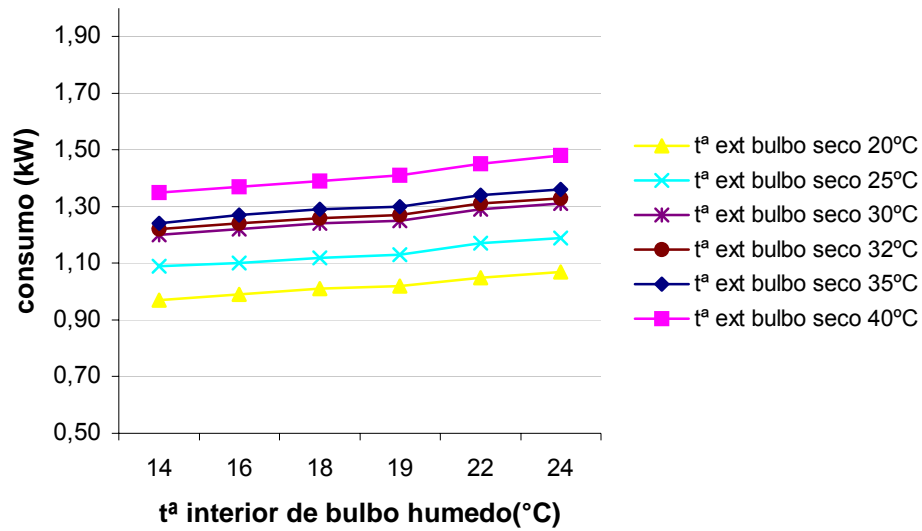


figura 5.86: Consumo en refrigeración frente la temperatura interior de bulbo húmedo para distintas temperaturas de bulbo seco del aire exterior.

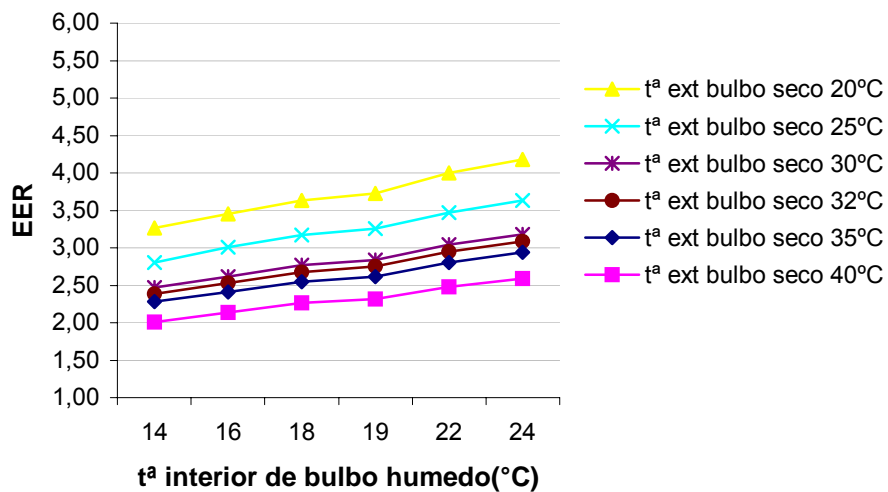


figura 5.87: EER frente la temperatura interior de bulbo húmedo para distintas temperaturas de bulbo seco del aire exterior.

Los valores nominales sobre los que se han hallado las tasas de variación porcentuales siguientes, son: la capacidad frigorífica 3.40 kW, la potencia consumida total 1.30 kW, la capacidad sensible 2.42 kW y el EER 2.61.

Temperatura del aire exterior (°C)	Tasa de variación de la potencia frigorífica (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la potencia frigorífica (%/°C)	Tasa de variación del Consumo total (kW/°C)	Tasa de variación porcentual del Consumo total (%/°C)	Tasa de variación de la capacidad sensible (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la capacidad sensible (%/°C)	Tasa de variación porcentual del EER (%/°C)
20	0,13	3,82	0,01	0,769	0,09	3,719	3,49
25	0,13	3,82	0,01	0,769	0,09	3,719	3,21
30	0,12	3,53	0,01	0,769	0,09	3,719	2,77
32	0,12	3,53	0,01	0,769	0,08	3,306	2,70
35	0,11	3,24	0,01	0,769	0,08	3,306	2,53
40	0,13	3,82	0,01	0,769	0,08	3,306	2,18
Valor medio de la tasa de variación	0,12	3,59	0,01	0,769	0,09	3,512	2,81

Tabla 5.28: Tasas de variación para la Potencia frigorífica, la capacidad sensible, consumo y EER respecto la temperatura interior de bulbo húmedo.

A continuación, se representa las mismas características del equipo, pero respecto la la temperatura exterior de bulbo seco. Se obtiene que la potencia frigorífica disminuye 0.03 kW y la capacidad sensible 0.02 kW, cuando se aumenta un °C la temperatura exterior de bulbo seco, el consumo aumenta en 0.02 kW.

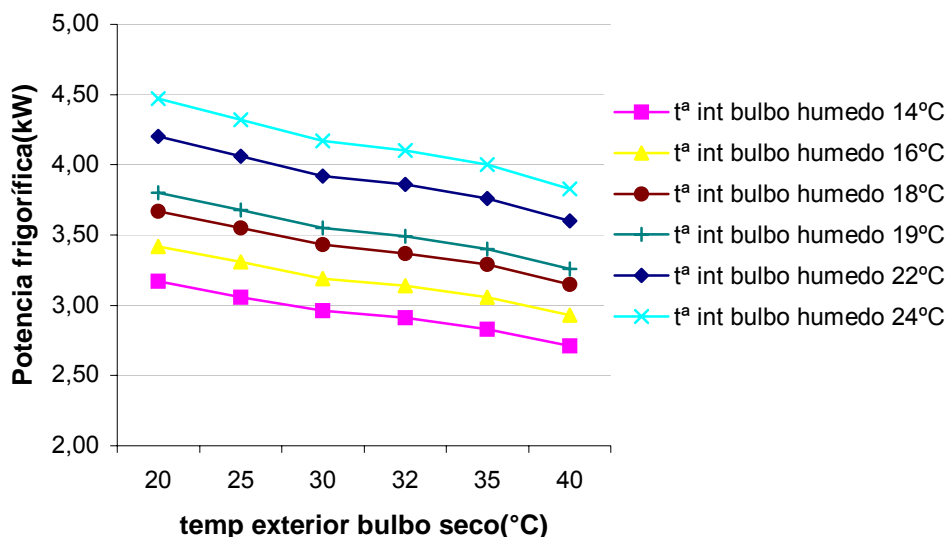


figura 5.88: Potencia frigorífica frente la temperatura exterior de bulbo seco para distintos valores de temperatura interior de bulbo húmedo.

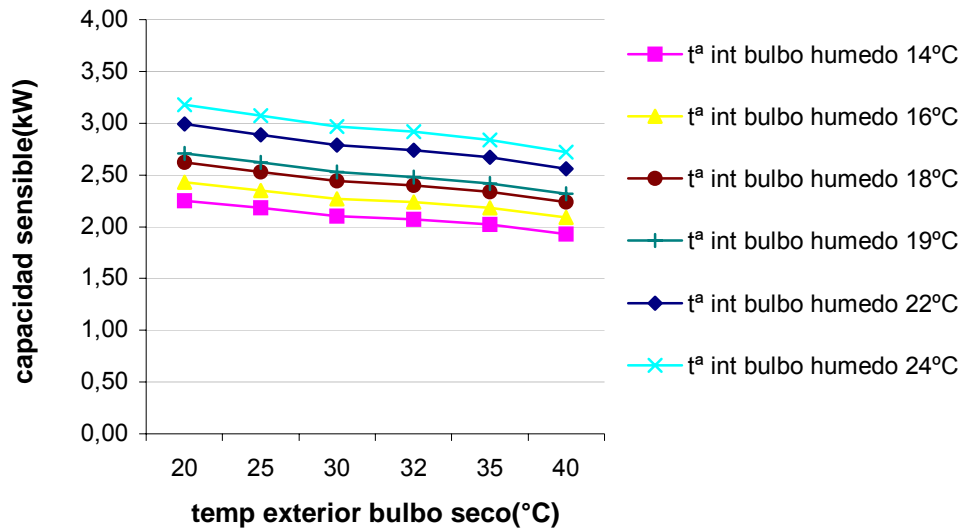


figura 5.89: Capacidad sensible frente a la temperatura exterior de bulbo seco para distintos valores de temperatura interior de bulbo húmedo.

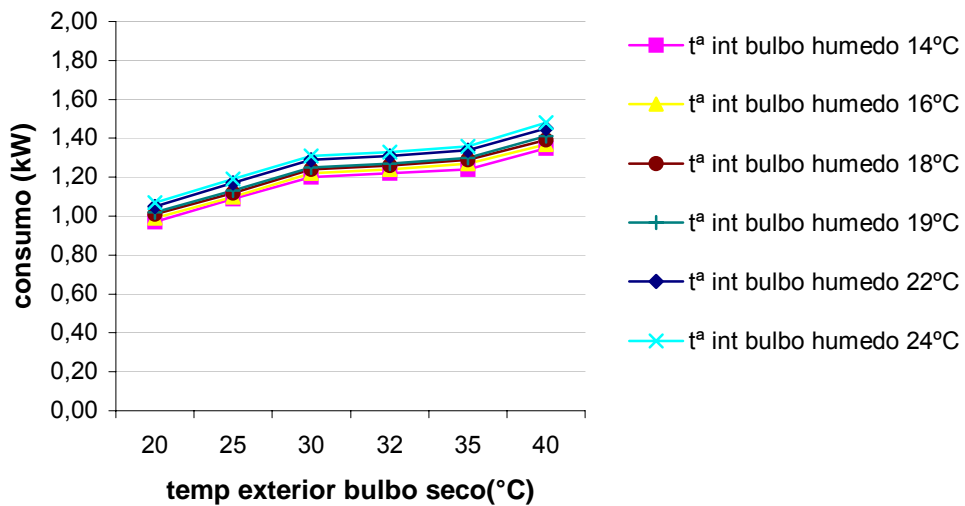


figura 5.90: Consumo frente a la temperatura exterior de bulbo seco para distintos valores de temperatura interior de bulbo húmedo.

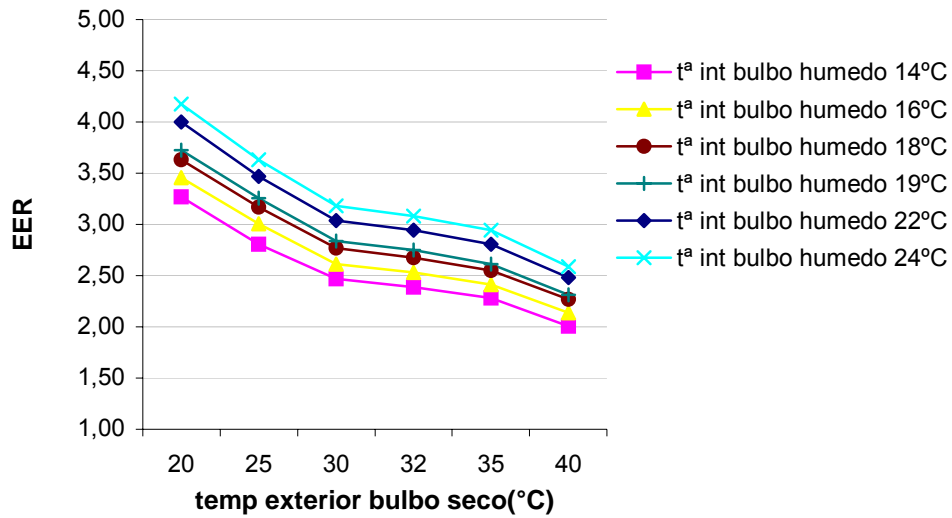


figura 5.91: EER frente a la temperatura exterior de bulbo seco para distintos valores de temperatura interior de bulbo húmedo.

Temperatura interior bulbo húmedo-seco (°C)	Tasa de variación de la potencia frigorífica (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la potencia frigorífica (%/°C)	Tasa de variación del Consumo total (kW/°C)	Tasa de variación porcentual del Consumo total (%/°C)	Tasa de variación de la capacidad sensible (kW/°C)
14-20	-0,02	-0,59	0,02	1,538	-2,22
16-22	-0,02	-0,59	0,02	1,538	-2,33
18-25	-0,03	-0,88	0,02	1,538	-2,43
19-27	-0,03	-0,88	0,02	1,538	-2,51
22-30	-0,03	-0,88	0,02	1,538	-2,68
24-32	-0,03	-0,88	0,02	1,538	-2,81
Valor medio de la tasa de variación	-0,03	-0,78	0,02	1,538	-2,50

Tabla 5.29: Tasas de variación para la potencia frigorífica, la capacidad sensible y el consumo en refrigeración respecto a la temperatura exterior de bulbo seco.

La capacidad de calefacción y el consumo en calefacción se da en función de la temperatura interior de bulbo seco y de la temperatura exterior de bulbo húmedo.

Si se representa la capacidad de calefacción y el consumo respecto a la temperatura interior de bulbo seco, de las tasas de variación, se concluye que la capacidad de calefacción disminuye 0.01 kW y el consumo aumenta 0.03 por cada °C que aumente la temperatura interior de bulbo seco.

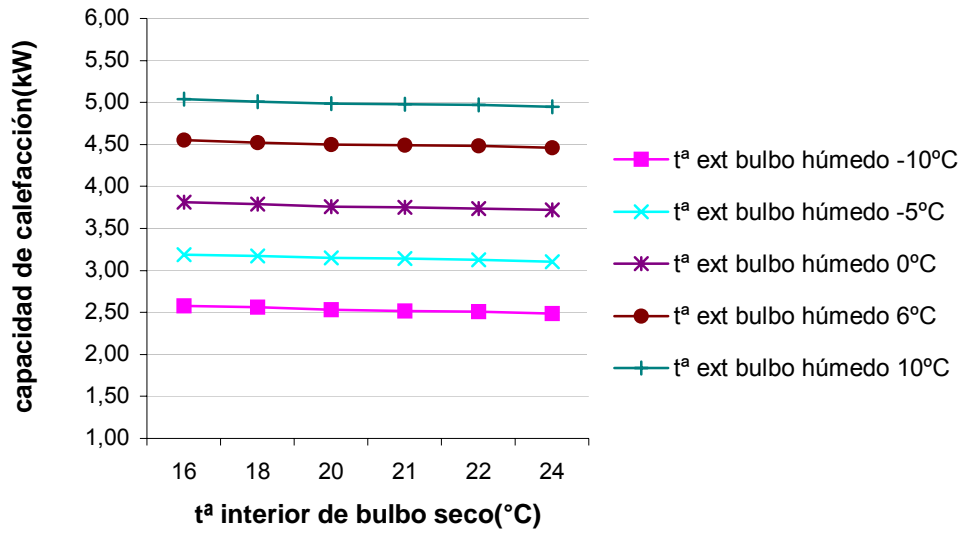


figura 5.92: Capacidad de calefacción frente la temperatura interior de bulbo seco para distintas temperaturas exteriores de bulbo húmedo.

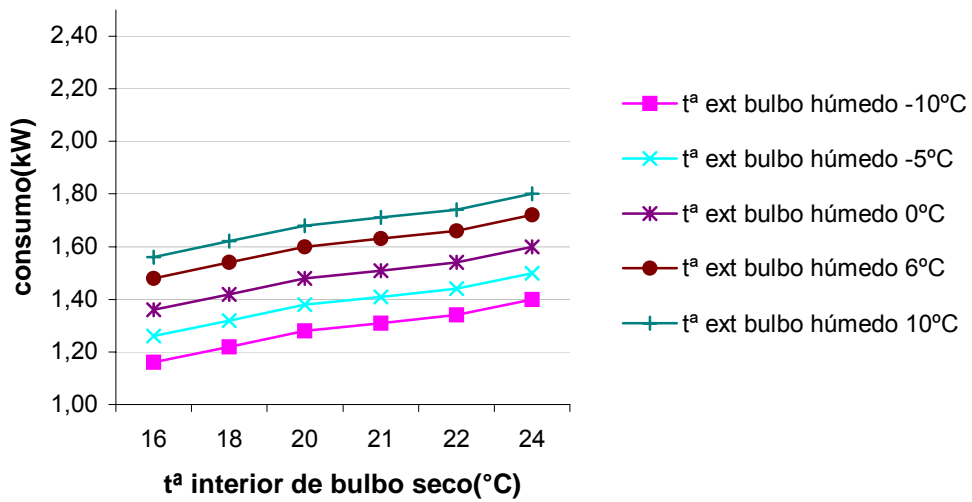


figura 5.93: Consumo frente la temperatura interior de bulbo seco para distintas temperaturas exteriores de bulbo húmedo.

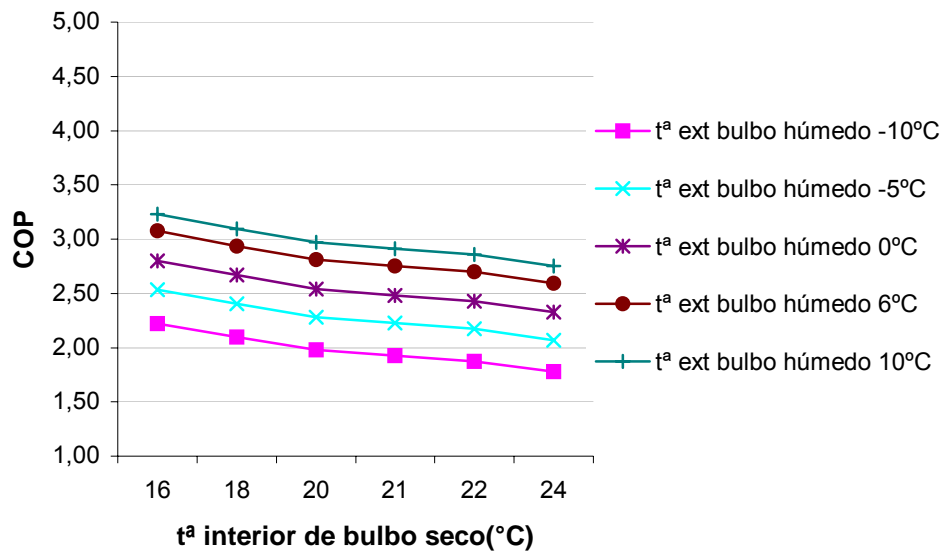


figura 5.94: COP frente la temperatura interior de bulbo seco para distintas temperaturas exteriores de bulbo húmedo.

Los valores nominales de los que se han obtenido las tasas de variación porcentuales, son, para la capacidad total 4.50 kW, para el consumo 1.60 y para el COP 2.81.

Temperatura exterior de bulbo húmedo (°C)	Tasa de variación de la capacidad de calefacción (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la capacidad de calefacción (%/°C)	Tasa de variación del Consumo total (kW/°C)	Tasa de variación porcentual del Consumo total (%/°C)	Tasa de variación porcentual del COP (%/°C)
-10	-0,01	-0,22	0,03	1,875	-1,95
-5	-0,01	-0,22	0,03	1,875	-2,04
0	-0,01	-0,22	0,03	1,875	-2,09
6	-0,01	-0,22	0,03	1,875	-2,12
10	-0,01	-0,22	0,03	1,875	-2,12
Valor medio de la tasa de variación	-0,01	-0,22	0,03	1,875	-2,06

Tabla 5.30: Tasas de variación para capacidad de calefacción, consumo y COP respecto la temperatura interior de bulbo seco.

Si se representa la capacidad de calefacción y el consumo frente la temperatura exterior de bulbo húmedo, se obtiene que la capacidad de calefacción aumenta en 0.08 kW y el consumo total en calefacción aumenta en 0.01 kW, conforme aumenta la temperatura exterior de bulbo húmedo.

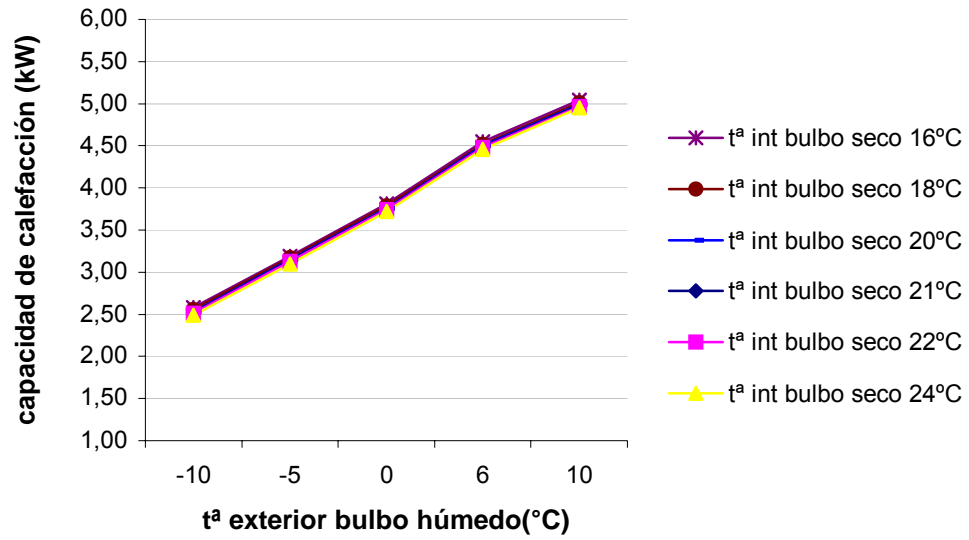


figura 5.95: Capacidad de calefacción frente la temperatura exterior de bulbo húmedo para distintas temperaturas interiores de bulbo seco.

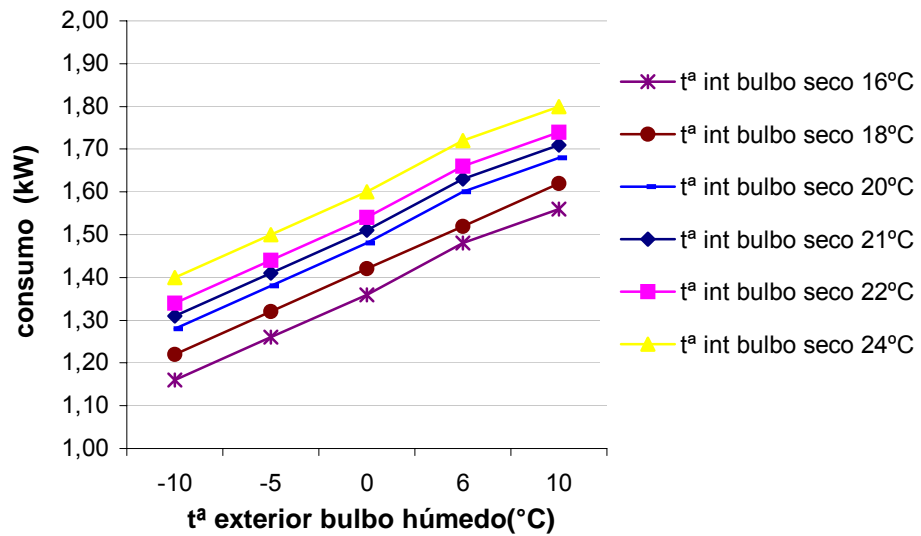


figura 5.96: Consumo total en calefacción frente la temperatura exterior de bulbo húmedo para distintas temperaturas interiores de bulbo seco.

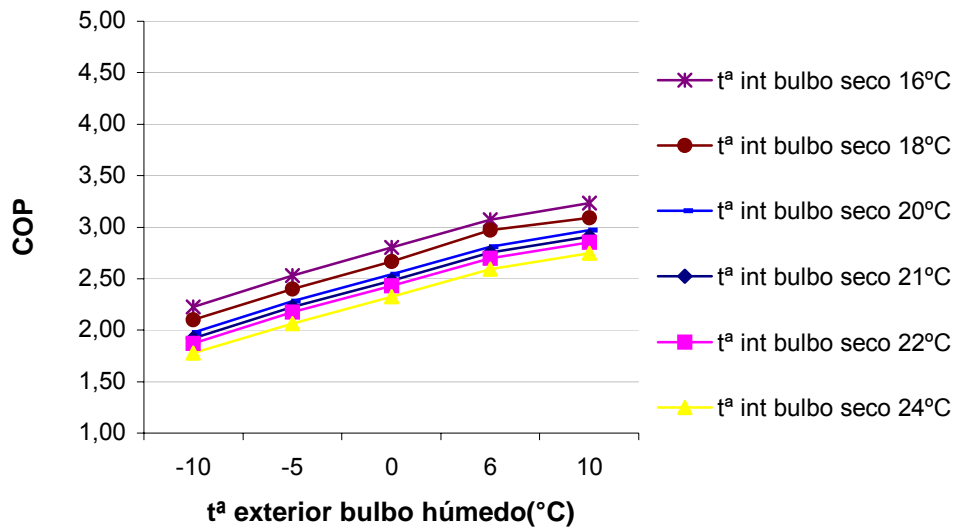


figura 5.97: COP frente la temperatura exterior de bulbo húmedo para distintas temperaturas interiores de bulbo seco.

Temperatura interior bulbo seco (°C)	Tasa de variación de la capacidad de calefacción (kW/°C)	Tasa de variación porcentual de la capacidad de calefacción (%/°C)	Tasa de variación del Consumo total (kW/°C)	Tasa de variación porcentual del Consumo total (%/°C)	Tasa de variación porcentual del COP (%/°C)
16	0,12	2,67	0,02	1,250	1,78
18	0,12	2,67	0,02	1,250	1,73
20	0,12	2,67	0,02	1,250	1,76
21	0,12	2,67	0,02	1,250	1,75
22	0,12	2,67	0,02	1,250	1,74
24	0,12	2,67	0,02	1,250	1,72
Valor medio de la tasa de variación	0,12	2,67	0,02	1,250	1,75

Tabla 5.31: Tasas de variación para capacidad de calefacción y el consumo en calefacción respecto la temperatura exterior de bulbo húmedo

5.2.5. Resultados y comparación de datos

A continuación, se representan las tasas de variación y gráficos de las potencias frigoríficas y los consumos respecto distintas temperaturas interiores y exteriores. La capacidad sensible de Daikin y Carrier no pueden compararse ya que la temperatura interior de bulbo seco de Carrier no se sabe cual es.

Aunque la potencia frigorífica y el consumo de Daikin se de para una pareja de valores de temperaturas interiores de bulbo húmedo y seco y una temperatura exterior y no coincida con los puntos de temperaturas interiores de Carrier se hace una comparación estimativa.

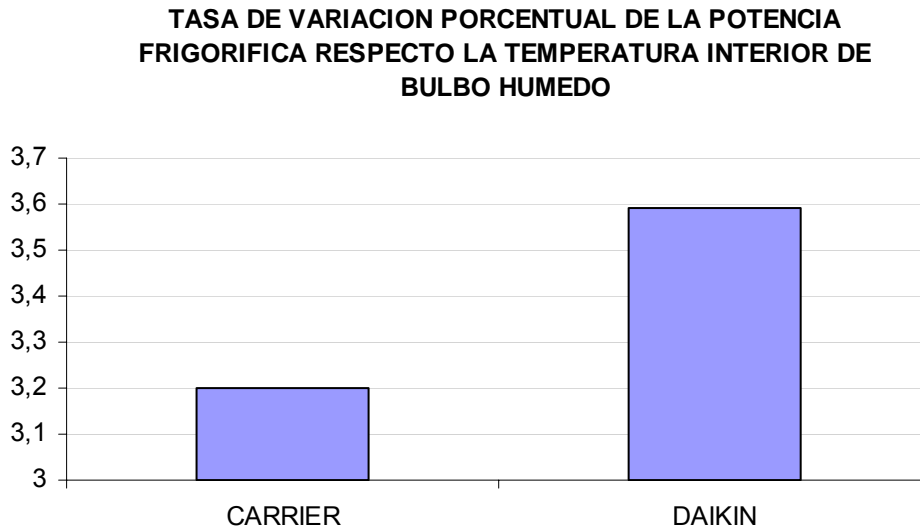


figura 5.98: Representación de la tasa de variación de la potencia frigorífica respecto a la temperatura interior de bulbo húmedo.

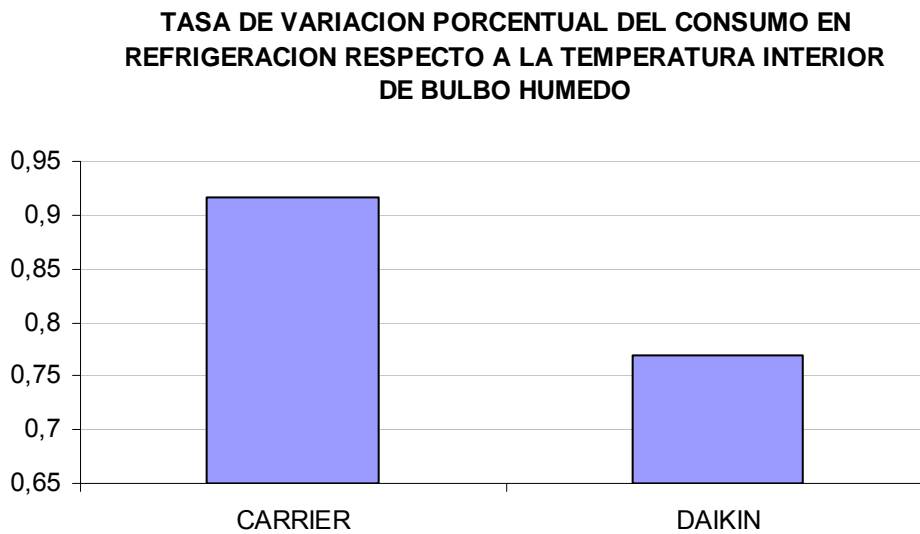


figura 5.99: Representación de la tasa de variación del consumo respecto a la temperatura interior de bulbo húmedo.

TASA DE VARIACION PORCENTUAL DE LA POTENCIA FRIGORIFICA RESPECTO LA TEMPERATURA INTERIOR DE BULBO HUMEDO

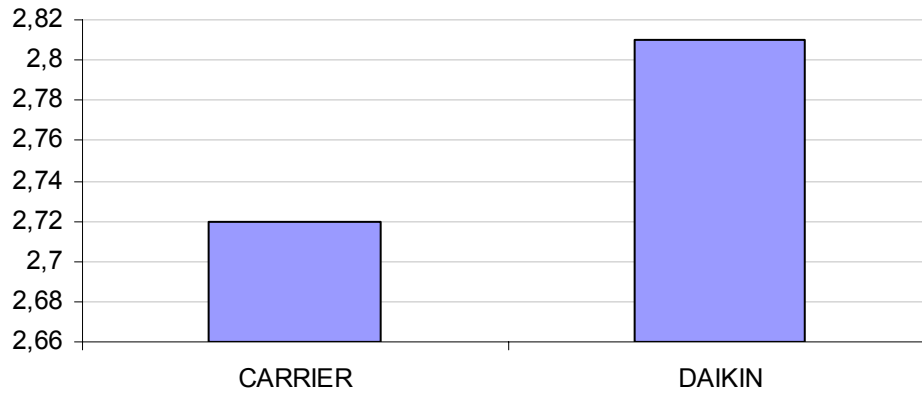


figura 5.100: Representación de la tasa de variación del EER respecto a la temperatura interior de bulbo húmedo.

La variación del EER/EERnom para una temperatura exterior del aire de 35°C, queda:

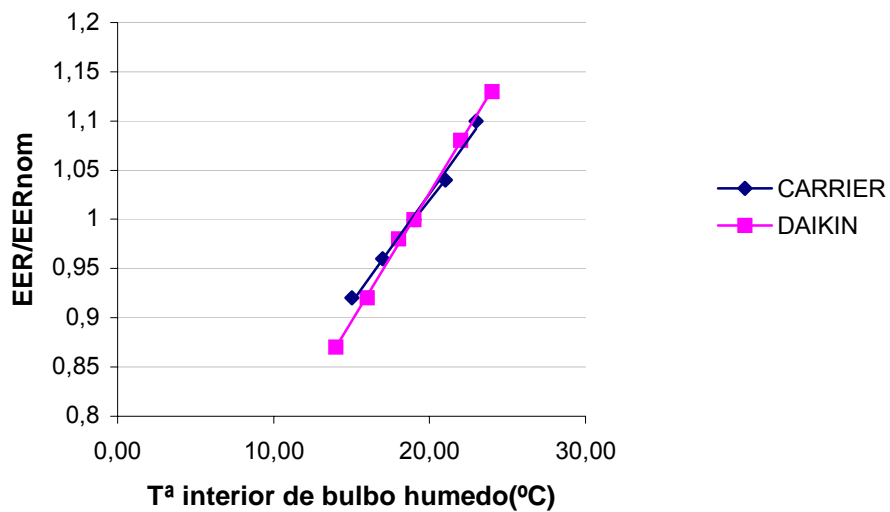


figura 5.101: Representación del EER/EER nom respecto la temperatura interior de bulbo húmedo.

Respecto la temperatura de bulbo seco de entrada del aire exterior, las representaciones quedan:

TASA DE VARIACION PORCENTUAL DE LA POTENCIA FRIGORIFICA RESPECTO LA TEMPERATURA EXTERIOR DE BULBO SECO

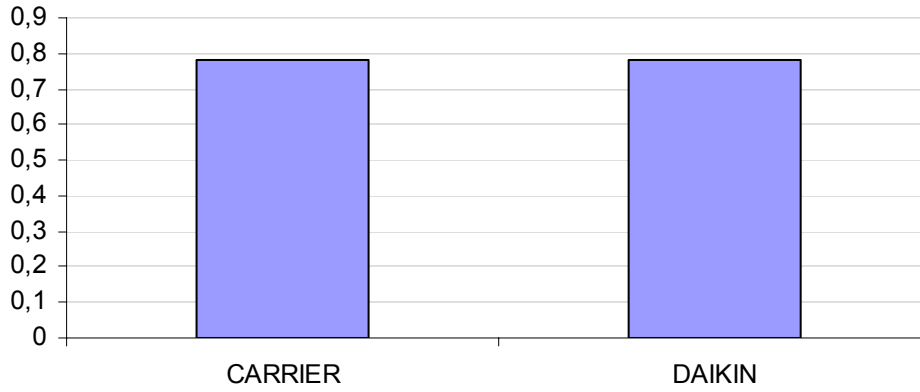


figura 5.102: Representación de la tasa de variación de la potencia frigorífica respecto la temperatura exterior de bulbo seco.

TASA DE VARIACION PORCENTUAL DEL CONSUMO EN REFRIGERACION RESPECTO A LA TEMPERATURA EXTERIOR DE BULBO SECO

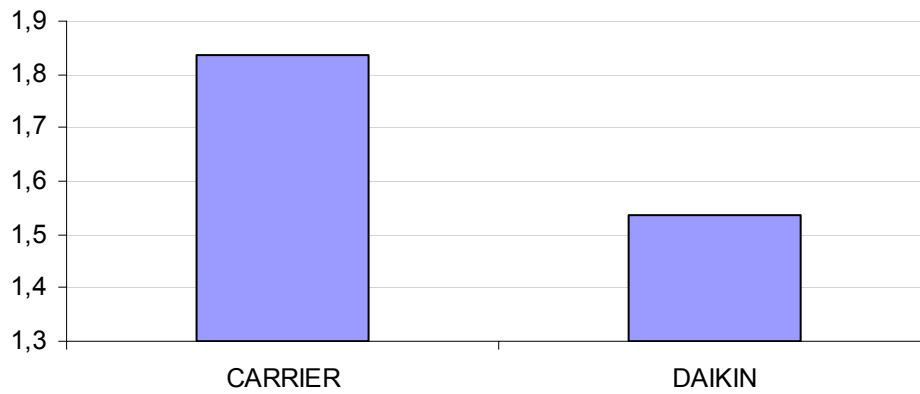


figura 5.103: Representación de la tasa de variación del consumo respecto la temperatura exterior de bulbo seco.

TASA DE VARIACION PORCENTUAL DE LA POTENCIA FRIGORIFICA RESPECTO LA TEMPERATURA EXTERIOR DE BULBO SECO

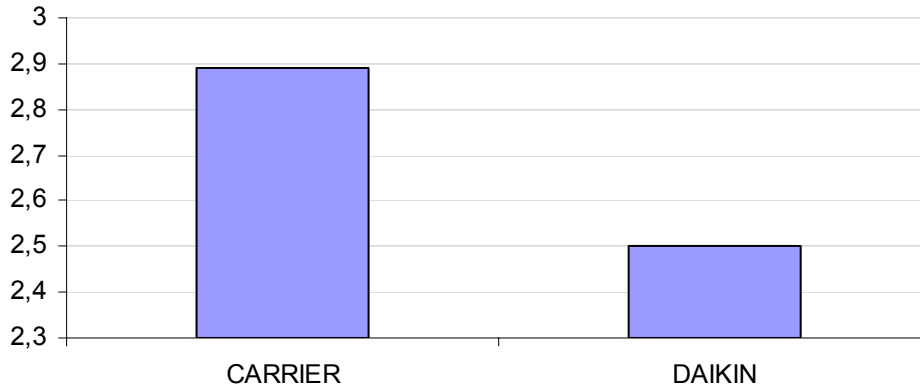


figura 5.104: Representación de la tasa de variación del EER respecto la temperatura exterior de bulbo seco.

Se comparan las dos marcas funcionando fuera de las condiciones nominales con la gráfica del EER/EER_{nom} frente temperatura exterior de bulbo seco, para una temperatura interior de bulbo húmedo de 19°C.

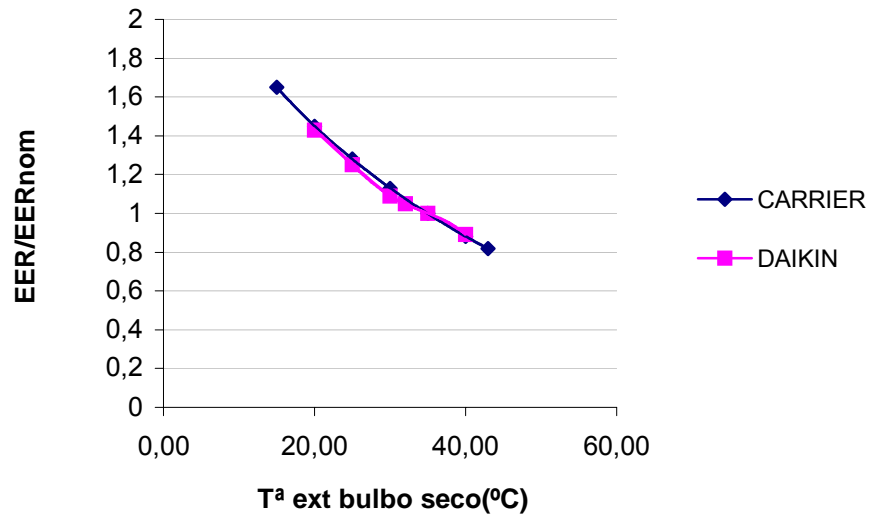


figura 5.105: Representación del EER/EER_{nom} respecto la temperatura exterior de bulbo seco.

La potencia calorífica se da en función de la temperatura exterior de bulbo húmedo y de la temperatura interior de bulbo seco. Las representaciones respecto la temperatura exterior de bulbo húmedo, son:

TASA DE VARIACION PORCENTUAL DE LA CAPACIDAD DE CALEFACCION RESPECTO LA TEMPERATURA EXTERIOR DE BULBO HUMEDO

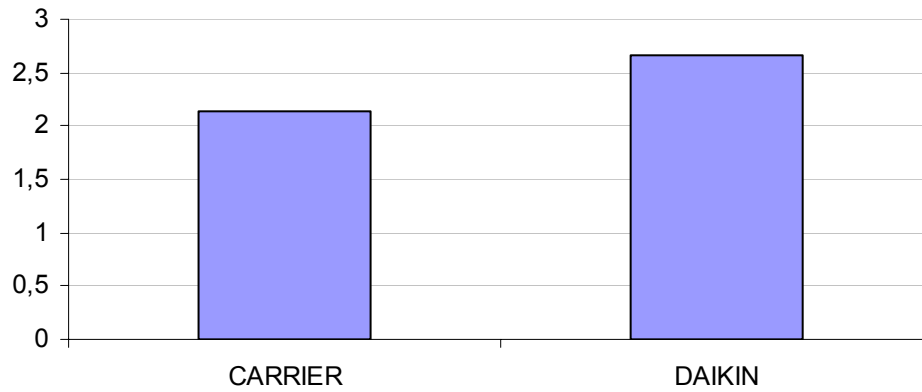


figura 5.106: Representación de la tasa de variación de la capacidad de calefacción respecto la temperatura exterior de bulbo húmedo.

TASA DE VARIACION PORCENTUAL DEL CONSUMO EN CALEFACCION RESPECTO A LA TEMPERATURA EXTERIOR DE BULBO HUMEDO

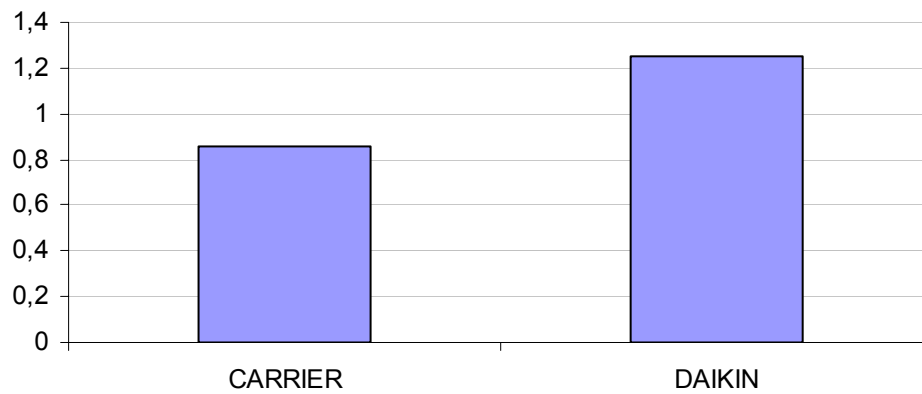


figura 5.107: Representación de la tasa de variación del consumo en calefacción respecto la temperatura exterior de bulbo húmedo.

TASA DE VARIACION PORCENTUAL DEL COP RESPECTO LA TEMPERATURA EXTERIOR DE BULBO HUMEDO

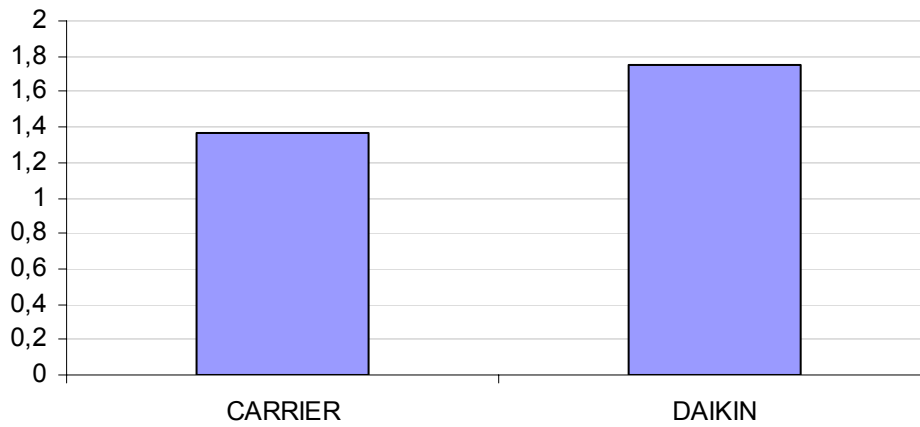


figura 5.108: Representación de la tasa de variación del COP respecto la temperatura exterior de bulbo húmedo.

Si se toma la temperatura interior de bulbo seco igual a 20°C, se representa la variación del COP/COPnom frente la temperatura exterior de bulbo seco.

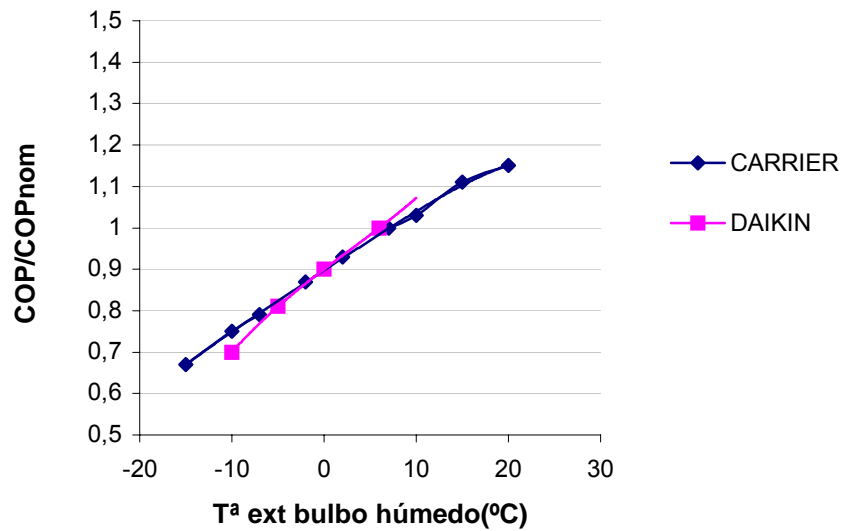


figura 5.109: Representación del COP/COPnom respecto la temperatura exterior de bulbo húmedo.

Representando ahora la capacidad de calefacción respecto la temperatura interior de bulbo seco.

TASA DE VARIACION PORCENTUAL DE LA CAPACIDAD DE CALEFACCION RESPECTO LA TEMPERATURA INTERIOR DE BULBO SECO

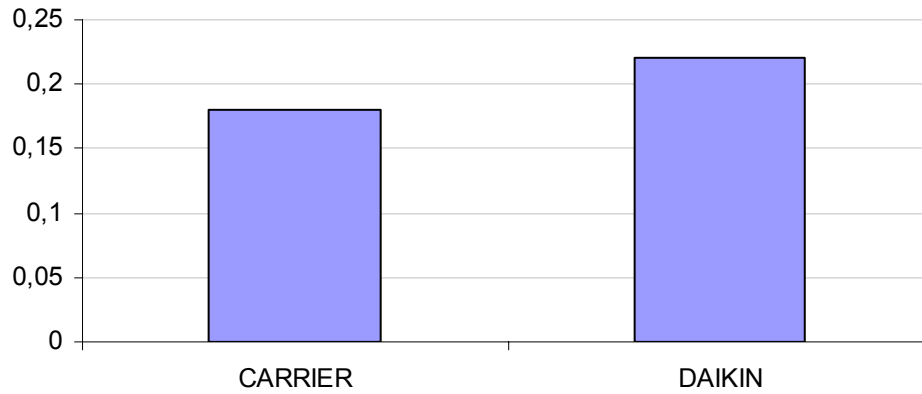


figura 5.110: Representación de la tasa de variación de la capacidad calorífica respecto a la temperatura interior de bulbo seco.

El consumo respecto la temperatura interior de bulbo seco, queda:

TASA DE VARIACION DEL CONSUMO EN CALEFACCION RESPECTO A LA TEMPERATURA INTERIOR DE BULBO SECO

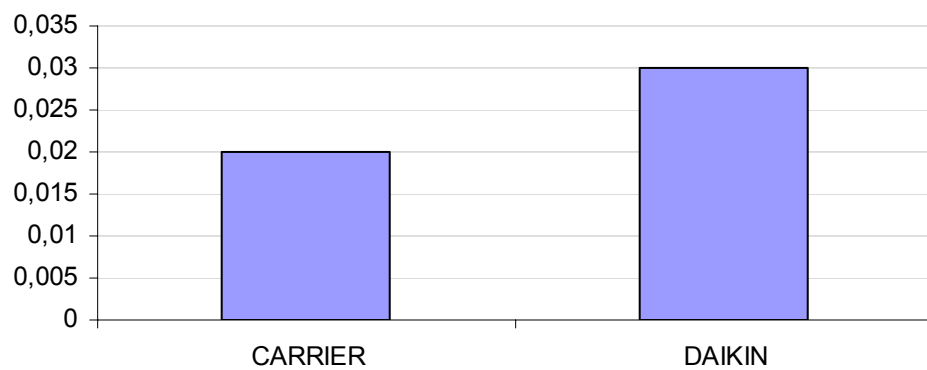


figura 5.111: Representación de la tasa de variación del consumo respecto a la temperatura interior de bulbo seco.

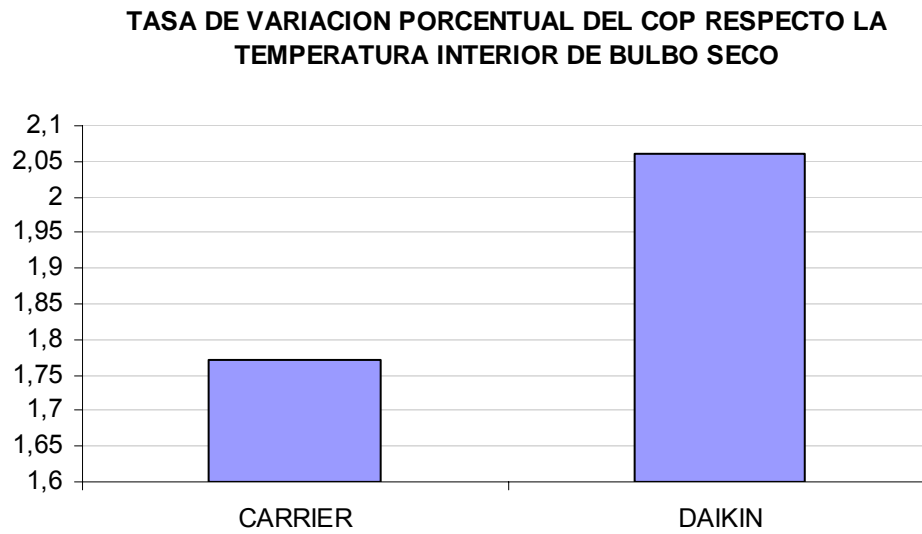


figura 5.112: Representación del COP, respecto la temperatura interior de bulbo seco.

Para una temperatura exterior de bulbo húmedo de 6°C, se representa la evolución del COP/COP nominal.

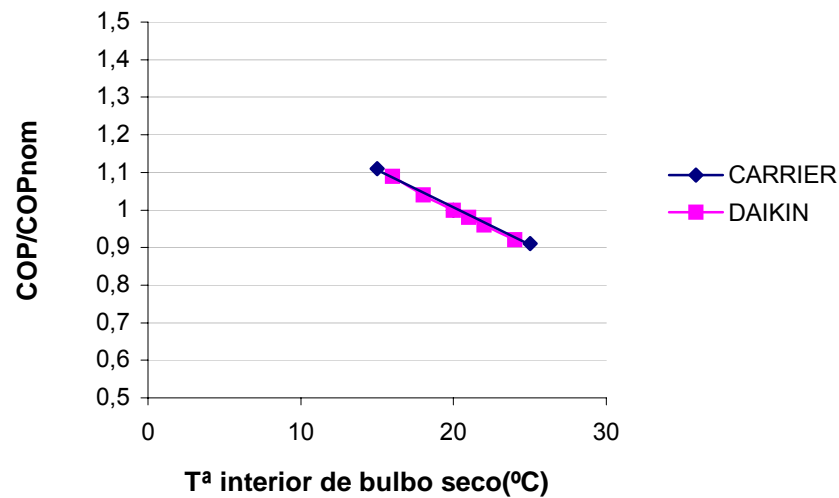


figura 5.113: Representación del COP/COP nom, respecto la temperatura interior de bulbo seco.

5.3. Estudio del factor de by pass y de la temperatura de ADP

El factor de bypass ya se definió matemáticamente en el apartado 2.5.3 del proyecto. Aquí lo que se le pretende dar es una interpretación física y explicar su método de cálculo. Este factor es un porcentaje de aire que se da en las baterías, el cual representa

la proporción de aire que al atravesar la batería no experimenta ningún cambio. Es decir, de la cantidad total de aire que entra en la batería, habrá una parte que salga en condiciones de saturación y otra parte que salga en las mismas condiciones en las que entró.

Por tanto, el factor de bypass lo que da es el cociente entre el caudal de aire que sale en similares condiciones a la entrada y el caudal de aire total.

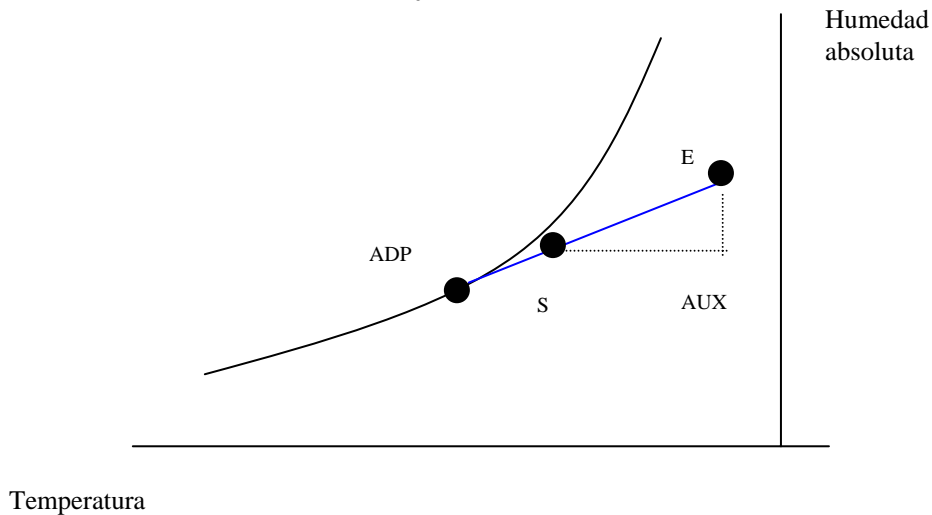


Figura 5.114: Esquema del diagrama psicrométrico.

La temperatura de ADP, es la temperatura del punto donde se cortan la curva de saturación y la línea que une la temperatura de entrada con la temperatura de salida de la batería. Esta temperatura indica el punto donde el aparato comienza a condensar.

En el anterior gráfico, se representan en un diagrama psicrométrico, el punto de entrada, el punto de salida, el punto de ADP y un punto auxiliar de cálculo que tiene la misma temperatura seca que el punto de entrada y la misma humedad específica que el punto de salida.

Para hallar tanto el factor de bypass, como la temperatura de ADP, se ha resuelto un sistema de ecuaciones en el programa EES (*Engineering Equation Solver*).

Con los valores tomados de los catálogos de los equipos, se introducen como datos: la presión atmosférica, la capacidad frigorífica total, la capacidad sensible, la temperatura interior de bulbo seco, la temperatura interior de bulbo húmedo, la temperatura exterior y el caudal volumétrico de aire en la unidad interior.

Los balances que se plantean en el programa, son los siguientes:

En primer lugar, se puede obtener la capacidad latente a partir de la capacidad total y de la capacidad sensible.

$$CT = CS + CL$$

donde:

CT es capacidad total, en kW

CS es capacidad sensible, en kW

CL es capacidad latente, en kW

A través de la temperatura interior de bulbo húmedo y seco del punto de entrada y la presión atmosférica, se pueden conocer de este mismo punto: la densidad, entalpía, humedad relativa y humedad específica.

Como ya se conoce la entalpía del punto de entrada, con los siguientes balances se hallarán la entalpía del punto de salida y la entalpía del punto auxiliar.

$$CT = m_{ent}(h_{ent} - h_{sal})$$

$$CS = m_{ent}(h_{aux} - h_{sal})$$

donde:

m_{ent} es el caudal másico de aire, en kg/s

h_{ent} es la entalpía del aire a la entrada, kJ/kg

h_{aux} es la entalpía del aire en el punto auxiliar, kJ/kg

h_{sal} es la entalpía del aire a la salida, kJ/kg

Conociendo la entalpía del punto auxiliar y la temperatura del punto de entrada se puede hallar humedad específica del punto de salida. Y con esta humedad y la entalpía del punto de salida, se puede hallar la temperatura del punto de salida. Con lo que el punto de salida queda completamente determinado.

Ahora, por estar en la misma recta el punto de entrada, el punto de salida y el punto de ADP, se plantea el siguiente balance:

$$\frac{h_{ent} - h_{ADP}}{h_{ent} - h_{sal}} = \frac{W_{ent} - W_{ADP}}{W_{ent} - W_{sal}}$$

donde:

h_{ADP} es la entalpía del punto de ADP

w_{ent} humedad específica del punto de entrada, kg H₂O/kg de aire seco

w_{sal} humedad específica del punto de salida, kg H₂O/kg de aire seco

w_{ADP} humedad específica del punto de ADP, kg H₂O/kg de aire seco

Sabiendo que la humedad absoluta del punto de ADP, se puede hallar con la entalpía del punto de ADP y situada sobre la curva de saturación, queda la ecuación anterior con una sola incógnita que es la entalpía del punto de ADP. Una vez hallada la entalpía del punto de ADP ya se puede saber a que temperatura está ese punto. Así queda determinado el punto de ADP.

Para calcular el factor de bypass se utiliza la siguiente ecuación:

$$F.B = \frac{h_{sal} - h_{ADP}}{h_{ent} - h_{ADP}}$$

En el estudio hecho a continuación se han representado para los equipos estudiados en apartados anteriores, la variación de la temperatura de ADP, y del factor de bypass respecto a las temperaturas interiores y exteriores del aparato.

5.3.1. Variación del factor de bypass y temperatura de ADP respecto la temperatura interior

- *Equipos de 12 kW*

En el catálogo del equipo 50YZ048 de Carrier los puntos en los que se conoce la capacidad total, sensible, y consumo son los que se representan en el siguiente gráfico:

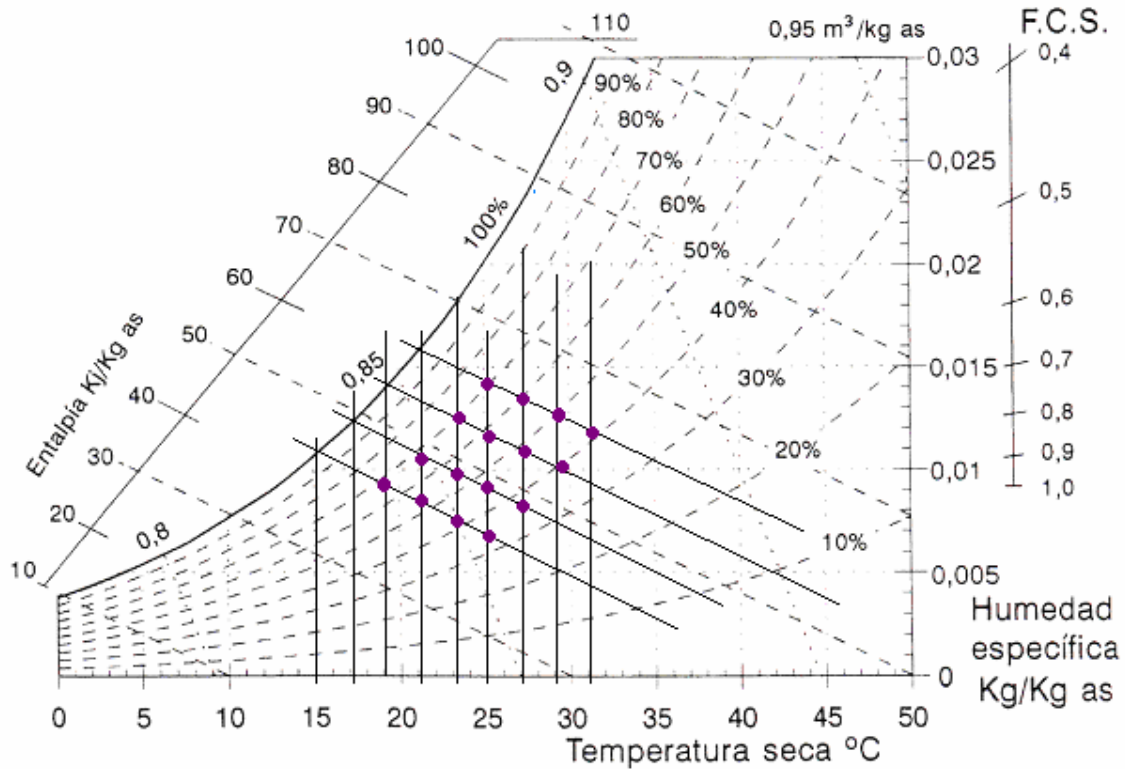


figura 5.115: Puntos del catálogo de Carrier sobre el Diagrama psicrométrico

Estos puntos son:

Temperatura interior de bulbo húmedo (°C)	15				17				19				21			
Temperatura interior de bulbo seco(°C)	19	21	23	25	21	23	25	27	23	25	27	29	25	27	29	31

Tabla 5.32: Temperaturas interiores del catálogo de Carrier.

Al intentar resolver el sistema de ecuaciones para calcular la temperatura de ADP y el factor de bypass para una temperatura exterior constante de 35°C y una temperatura interior de bulbo húmedo de 19°C, resulta que si se introducen los valores que dan el catálogo no converge el sistema.

Esta no convergencia del sistema ocurre porque para uno de los puntos de entrada que se da, el de temperatura interior de bulbo húmedo de 19°C y temperatura interior de bulbo seco de 23°C, da un punto de salida fuera del diagrama. El resto de puntos de entrada sí convergen en el resultado del factor de bypass y de la temperatura de ADP.

Temperatura Interior de bh (°C)	Temperatura interior de bulbo seco (°C)	Entalpía del aire de salida (kJ/kg)	Temperatura seca del aire de salida (°C)	Factor de bypass	Humedad relativa del aire a la salida (%/100)	Temperatura de ADP (°C)
19	23	39.35	10.94	No converge	No converge	No converge
19	25	39.2	15.42	0.3583	0,8187	10,66
19	27	39.06	16.14	0.3083	0,786	11,28
19	29	38.91	16.69	0.3074	0,7354	11,22

Tabla 5.33: Factor de bypass, temperatura de ADP, entalpía y temperatura seca del aire de salida.

A continuación, para aclarar el problema de la no convergencia se representa en el diagrama psicrométrico la situación que se produce.

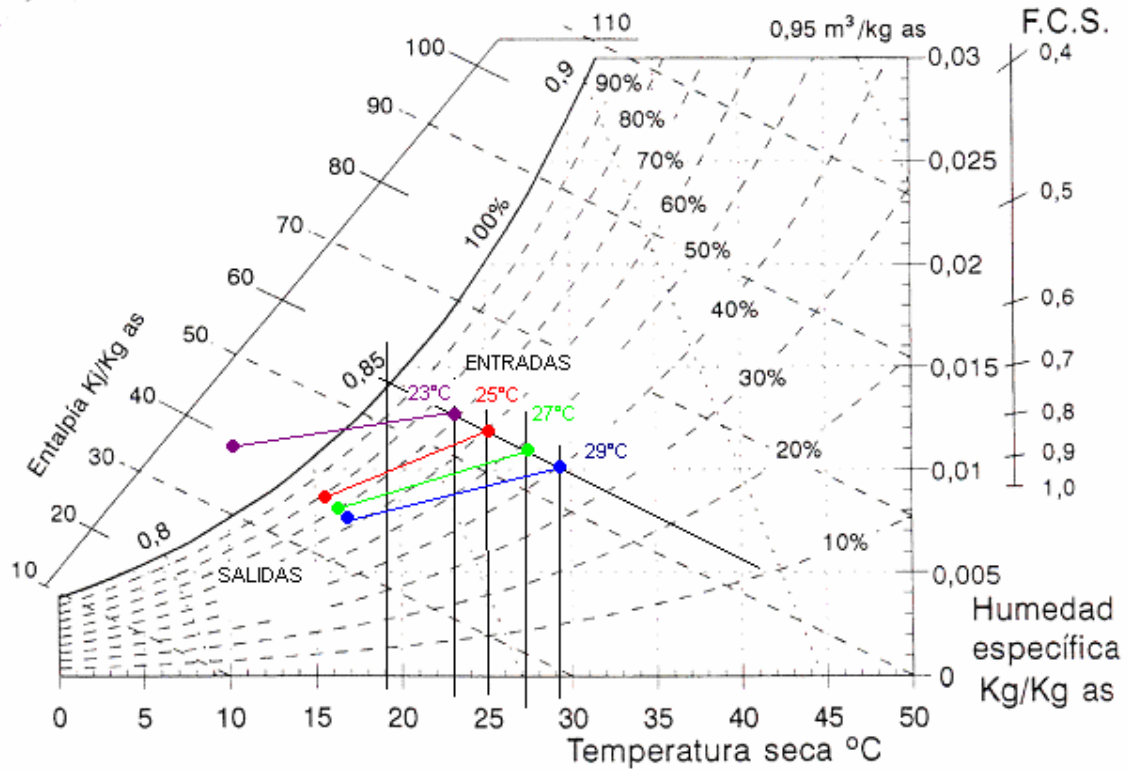


figura 5.116: Puntos de entrada y de salida del catálogo.

Si no se tiene en cuenta el punto de entrada de 23°C de bulbo seco y se resuelve el sistema ya se ha visto que convergía, y se obtenían los valores del factor de bypass y la temperatura de ADP. La variación de estos valores con la temperatura interior de bulbo seco es la siguiente.

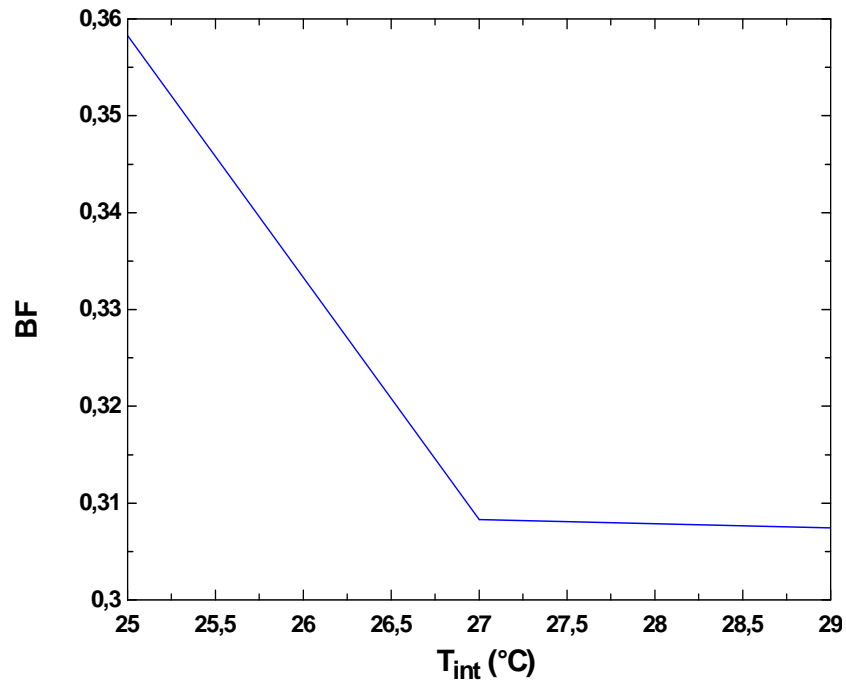


figura 117: Representación del factor de bypass en función de la temperatura interior de bulbo seco.

La evolución de la temperatura de ADP respecto la temperatura interior de bulbo seco se representa a continuación.

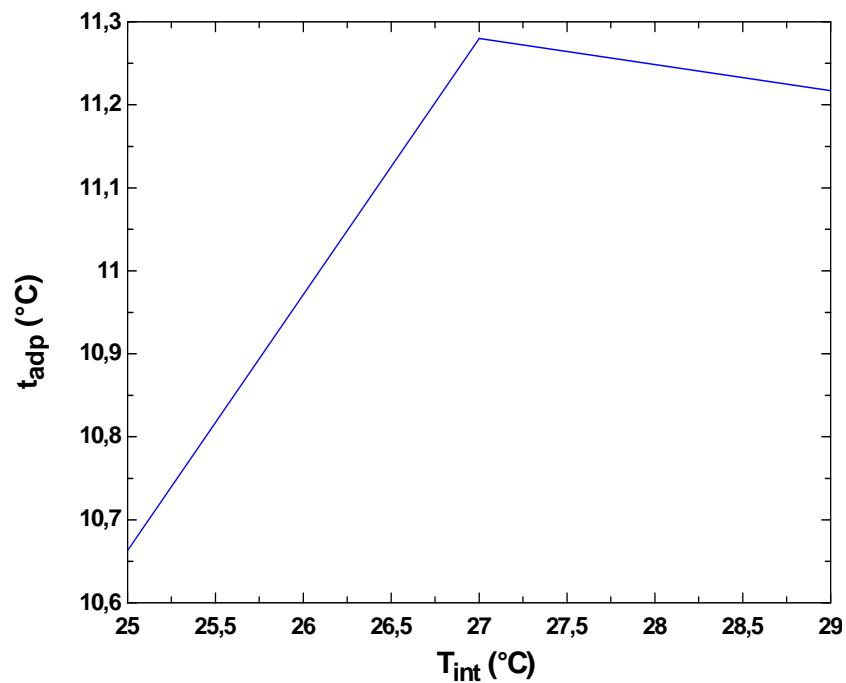


figura 5.118: Temperatura de ADP frente temperatura interior de bulbo seco para el equipo 50YZ048 de Carrier.

En el equipo de Daikin, los puntos de entrada que se ofrecen en el catálogo están todos aproximadamente sobre la curva de un 50% de humedad relativa. Estos puntos son los que se presentan en la siguiente gráfica.

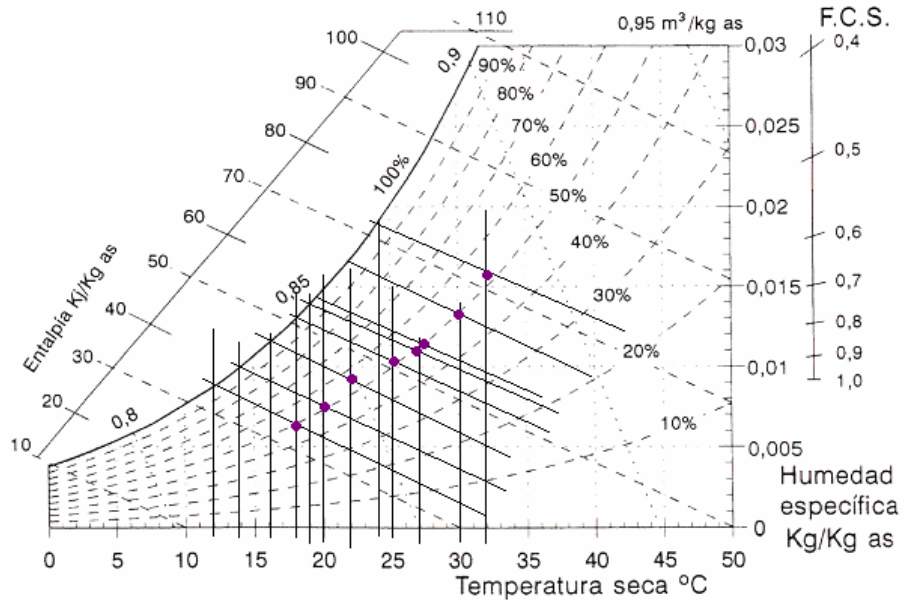


figura 5.119: Puntos del catálogo de Daikin sobre el Diagrama psicrométrico

En el catálogo se da un valor del factor de bypass constante de 0.14. Sin embargo, al resolver el sistema para calcular el factor de bypass sí converge, pero no es constante, varía con la temperatura interior.

Los valores que se dan en la siguiente tabla son para una temperatura exterior de 35°C.

Temperatura Interior de bh (°C)	Temperatura interior de bs (°C)	Entalpía de salida del aire (kJ/kg)	Temperatura seca del aire de salida (°C)	Factor de bypass	Humedad relativa del aire a la salida (%/100)	Temperatura de ADP
12	18	20,21	6,479	0,1317	0,9067	4,728
14	20	24,25	8,395	0,1292	0,9155	6,669
16	22	28,67	10,17	0,08907	0,945	9,008
18	25	33,44	12,61	0,1484	0,9013	10,45
19	27	35,88	14,53	0,266	0,8141	9,984
19,5	27	37,23	14,38	0,1805	0,8787	11,59
22	30	44,21	16,96	0,1715	0,8848	14,24
24	32	50,33	18,72	0,1307	0,9152	16,71

Tabla 5.34: Factor de ByPass en función de la temperatura interior de bulbo húmedo y de la temperatura interior de bulbo seco para el equipo FHYBP125+RYP125 de Daikin.

Los puntos de salida se sitúan aproximadamente todos sobre la curva de humedad relativa del 90%. Esto se puede observar en el siguiente gráfico:

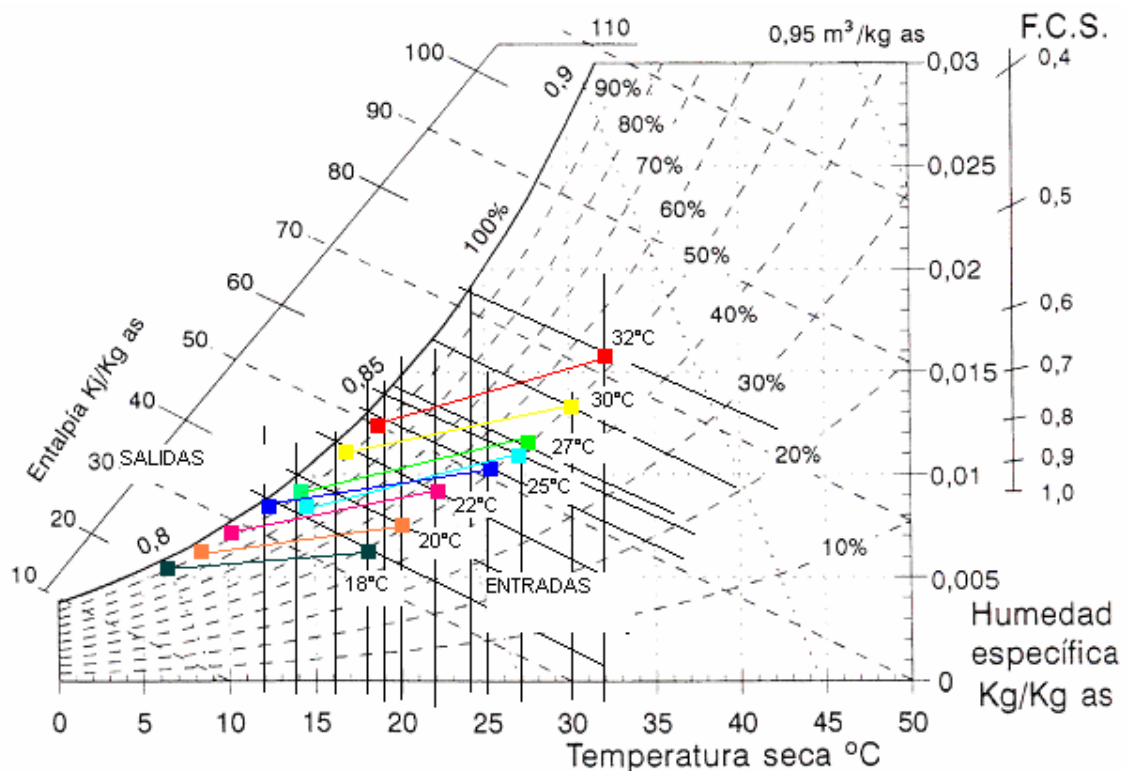


figura 5.120: Puntos de entrada y de salida del catálogo.

La variación del factor de bypass y de la temperatura de ADP respecto la temperatura interior de bulbo húmedo queda así:

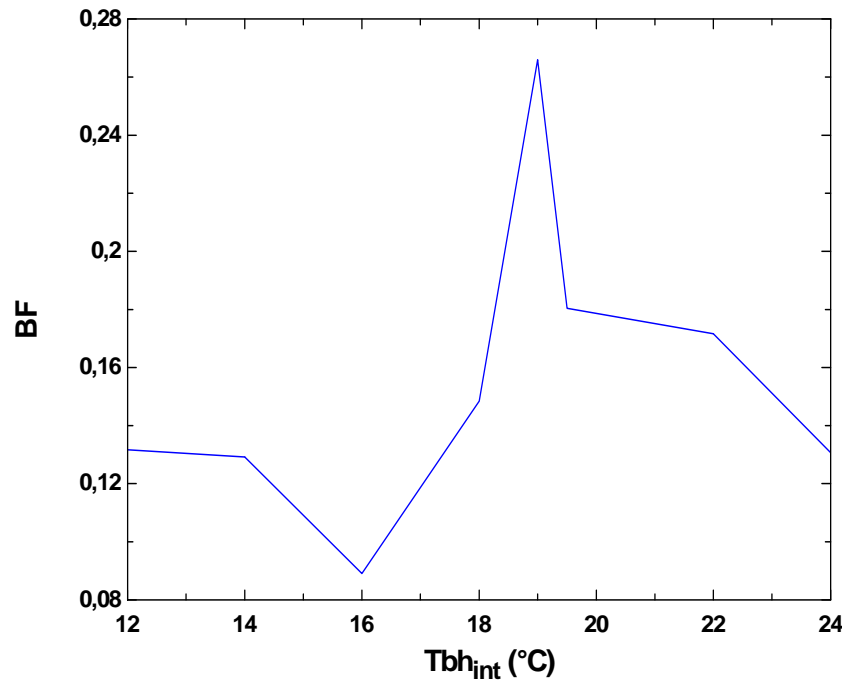


figura 5.121: Factor de bypass frente temperatura interior de bulbo húmedo para el equipo FHYBP125B+RYP125 de Daikin.

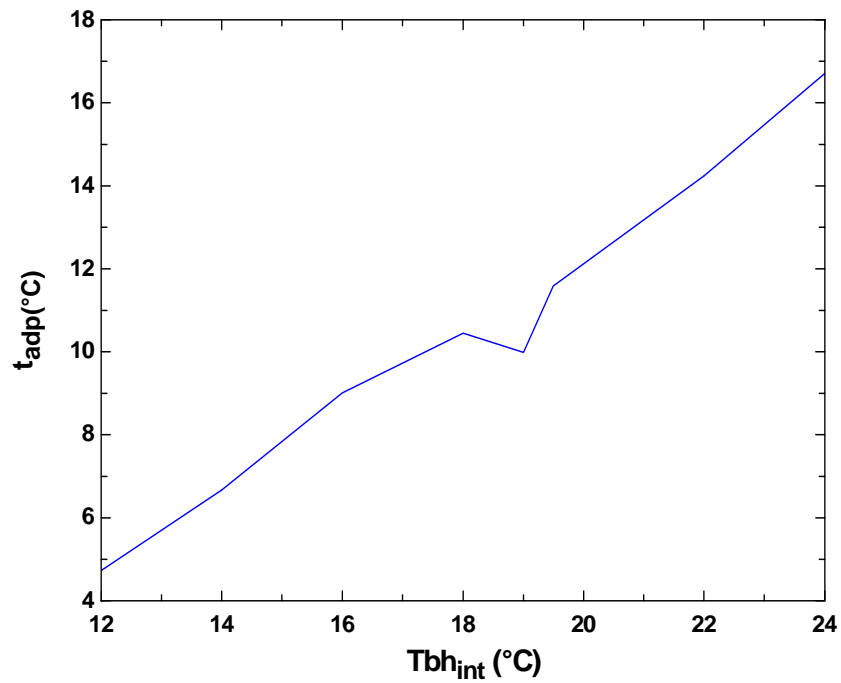


figura 5.122: Temperatura de ADP frente temperatura interior de bulbo húmedo para el equipo FHYBP125B+RYP125 de Daikin.

En el catálogo de Hitachi, los puntos de entrada que dan están situados sobre la curva de humedad relativa del 50%.

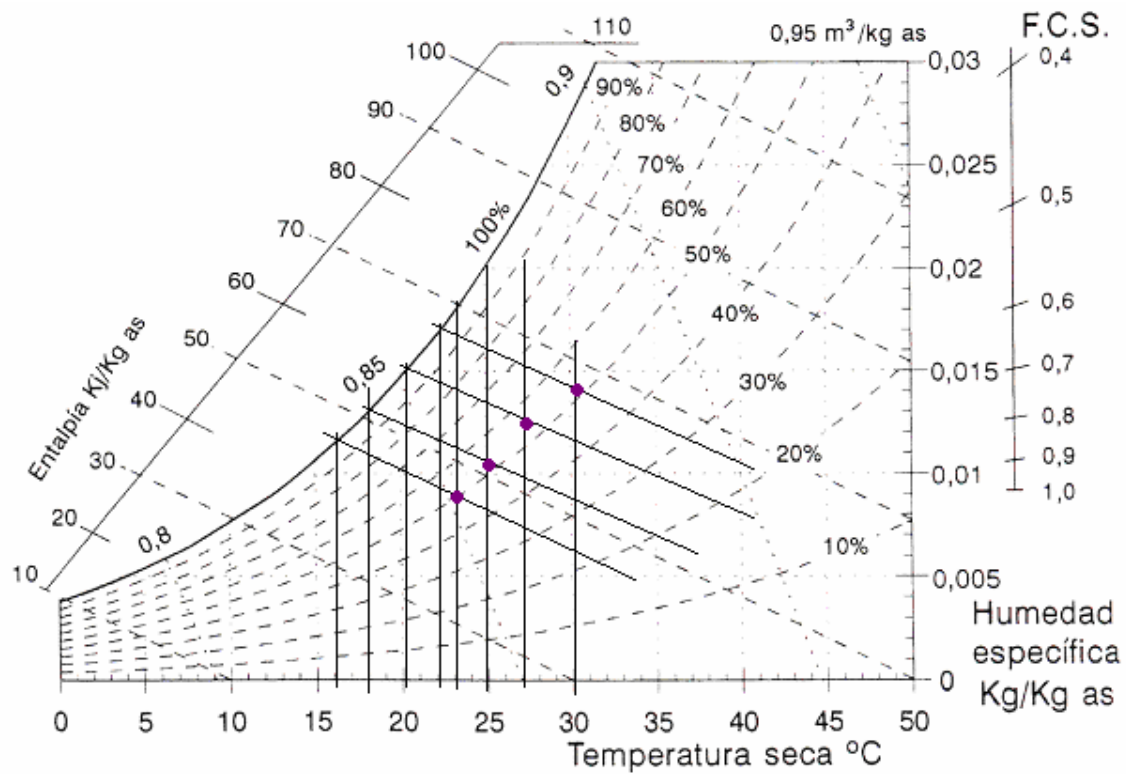


figura 5.123: Puntos del catálogo de Hitachi sobre el Diagrama psicrométrico

En este catálogo, el factor de bypass y la temperatura de ADP se pueden hallar , ya que el sistema converge. Para una temperatura exterior de 35°C los valores son:

Temperatura Interior de bh (°C)	Temperatura interior de bs (°C)	Entalpía de salida del aire (kJ/kg)	Temperatura seca del aire de salida (°C)	Factor de bypass	Humedad relativa del aire a la salida (%/100)	Temperatura de ADP
16	23	28,31	10,7	0,1897	0,8678	7,811
18	25	33,14	12,47	0,1449	0,9036	10,34
20	27	38,31	14,52	0,1508	0,9062	12,29
22	30	44,36	16,96	0,1638	0,8895	14,39

Tabla 5.35: Factor de ByPass en función de la temperatura interior de bulbo húmedo y de la temperatura interior de bulbo seco para el equipo RPI5HG7E+RAS5G7E, de Hitachi.

Con los datos de la entalpía y la temperatura de salida obtenidos resolviendo el sistema se sitúan los puntos de salida sobre el diagrama. Estos puntos de salida, como se pueden apreciar en el siguiente gráfico se sitúan en la curva de humedad relativa del 90%.

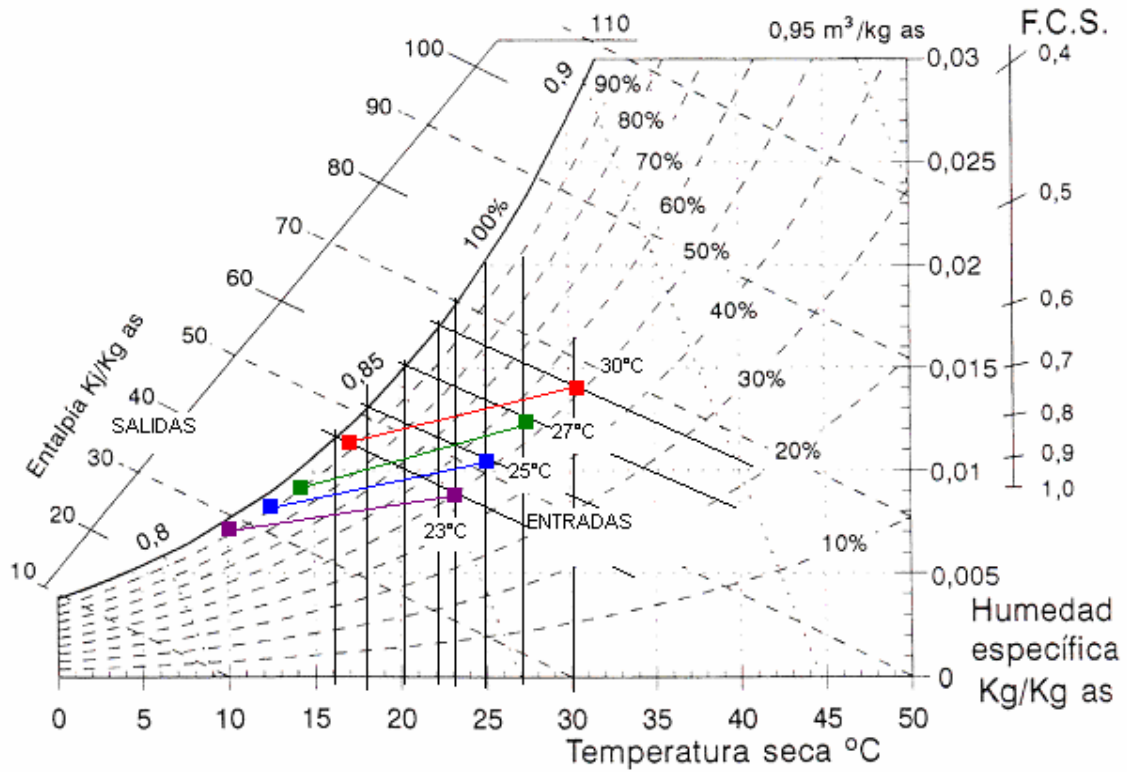


figura 5.124: Puntos de entrada y de salida del catálogo

A continuación se representa la variación del factor de bypass y la temperatura de ADP con la temperatura interior de bulbo húmedo.

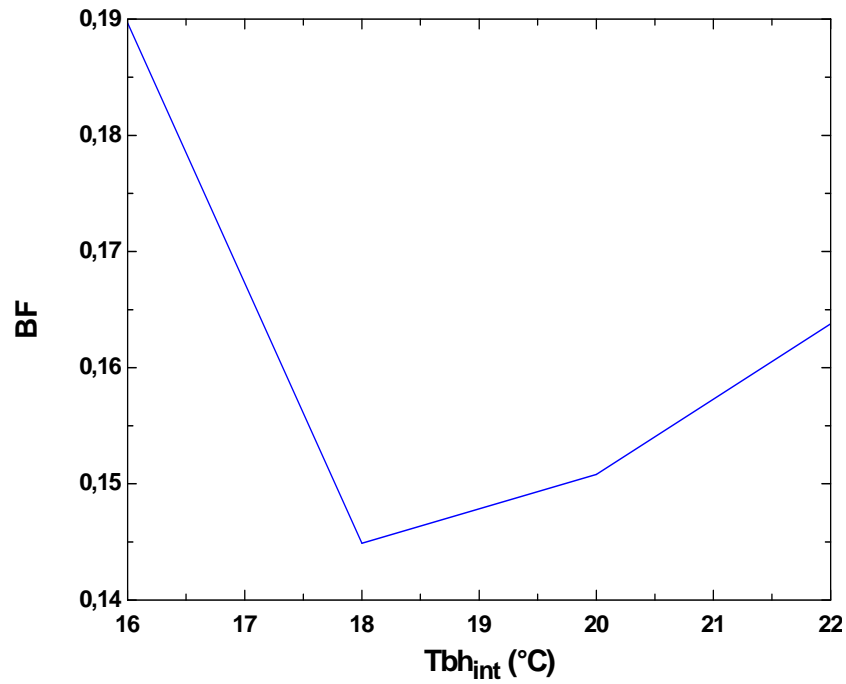


figura 5.125: Factor de bypass frente temperatura interior de bulbo húmedo para el equipo RPI5HG7E+RAS5G7E de Hitachi.

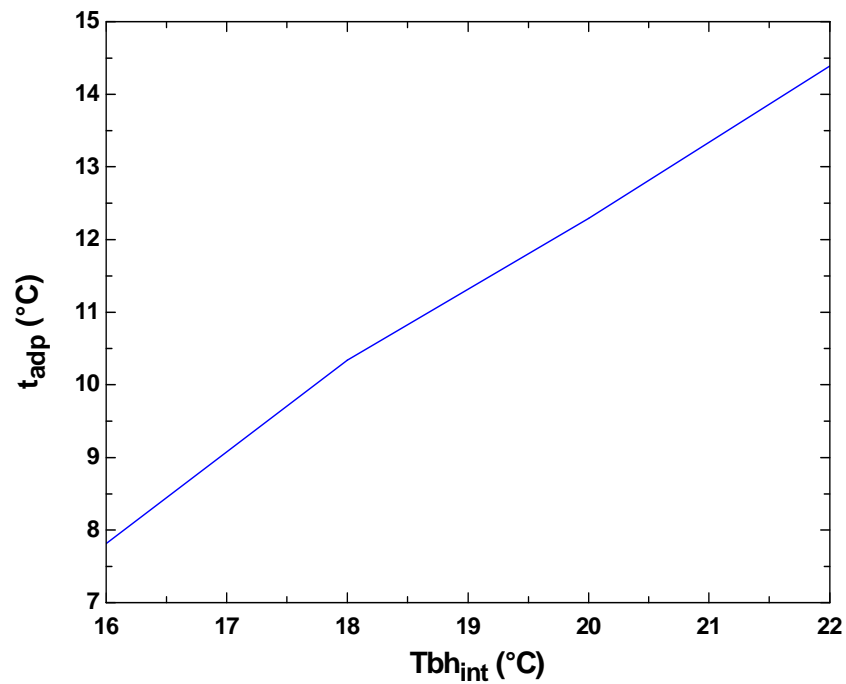


figura 5.126: Temperatura de ADP frente temperatura interior de bulbo húmedo para el equipo RPI5HG7E+RAS5G7E de Hitachi.

- Equipos de 3 kW

En el catálogo del equipo de Carrier 38BH012G+40SMC012, la capacidad total, sensible y consumo se da para una temperatura interior de bulbo húmedo y una temperatura exterior, pero no se indica la temperatura interior de bulbo seco a la que están tomados los datos. Por tanto, es imposible hallar las condiciones de salida, el factor de bypass y la temperatura de ADP.

Para el equipo FFQ35B+RXS35B de Daikin, los puntos de entrada que dan en el catálogo, se sitúan también sobre la curva de humedad relativa del 50%.

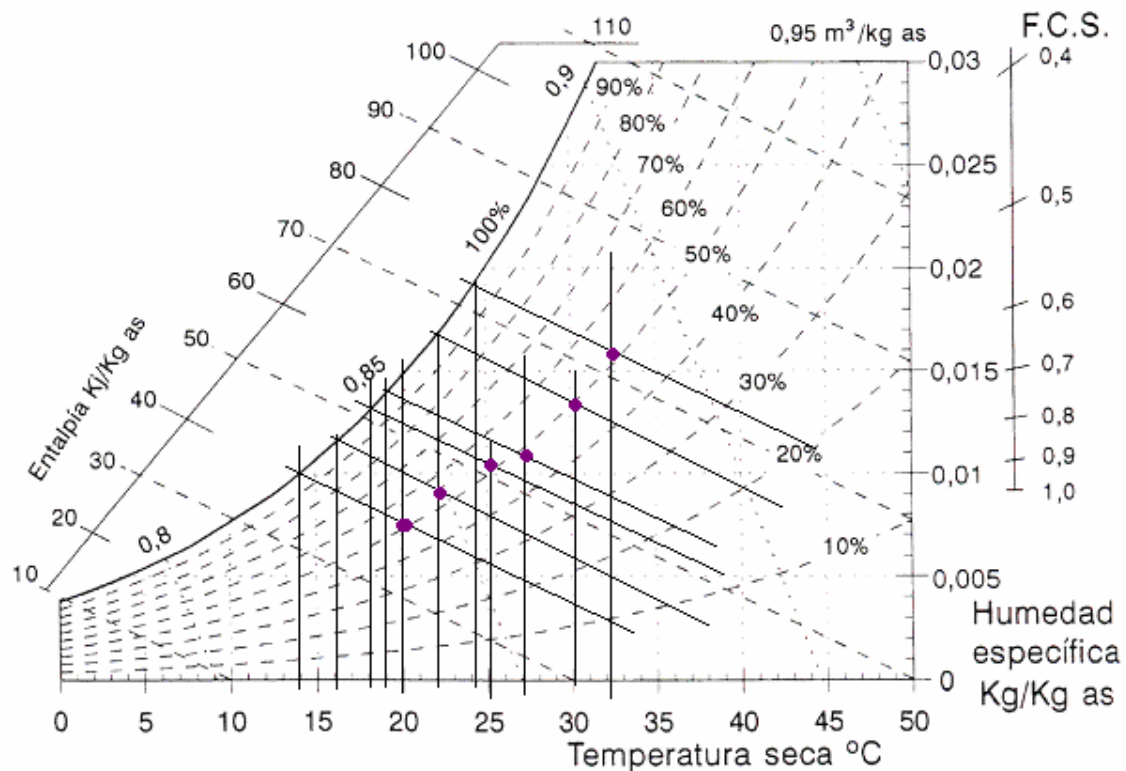


figura 5.127: Puntos del catálogo de Daikin sobre el Diagrama psicrométrico

Para Daikin, a 35°C de temperatura exterior sí se pueden hallar los valores del factor de bypass, aunque vuelve a suceder como en el caso de 12 kW, ya que el factor de bypass no es constante respecto la temperatura y no coincide con el valor de 0.25 que se da en catálogo.

Temperatura Interior de bh (°C)	Temperatura interior de bs (°C)	Entalpía de salida del aire (kJ/kg)	Temperatura seca del aire de salida (°C)	Factor de bypass	Humedad relativa del aire a la salida (%/100)	Temperatura de ADP (°C)
14	20	24,96	9,988	0,3913	0,7755	3,521
16	22	29,24	11,12	0,2275	0,8677	7,904
18	25	33,86	13,2	0,2178	0,8597	9,905
19	27	36,32	14,72	0,2662	0,8134	10,24
22	30	44,57	16,32	0,06251	0,9557	15,4
24	32	50,78	17,35	-0,07754	1,055	18,41

Tabla 5.36: Factor de ByPass, temperatura de ADP, entalpía de salida del aire y temperatura seca del aire de salida en función de la temperatura interior de bulbo húmedo y de la temperatura interior de bulbo seco para el equipo FFQ35B+RXS35B, de Daikin.

Para la última pareja de valores de temperaturas de entrada, se obtiene un valor del factor de bypass negativo, pero muy pequeño, esto sale así porque la entalpía del punto de ADP que sale (52.31 kJ/kg), es mayor que la entalpía del punto de salida (50.78 kJ/kg). Esto no puede ocurrir nunca en realidad, pero al ser el valor negativo tan pequeño, puede que la causante de esta situación sea que las temperaturas hayan sido redondeadas sin ajustar las capacidades, de manera que el punto de salida, y el punto de ADP ya varíe del que se obtiene.

Los puntos de salida según las capacidades totales y sensibles del catálogo se sitúan en el siguiente gráfico. El punto de salida correspondiente a la temperatura de entrada 32°C se puede observar como sobrepasa por muy poco la curva de saturación, esto se debe a la causa explicada anteriormente.

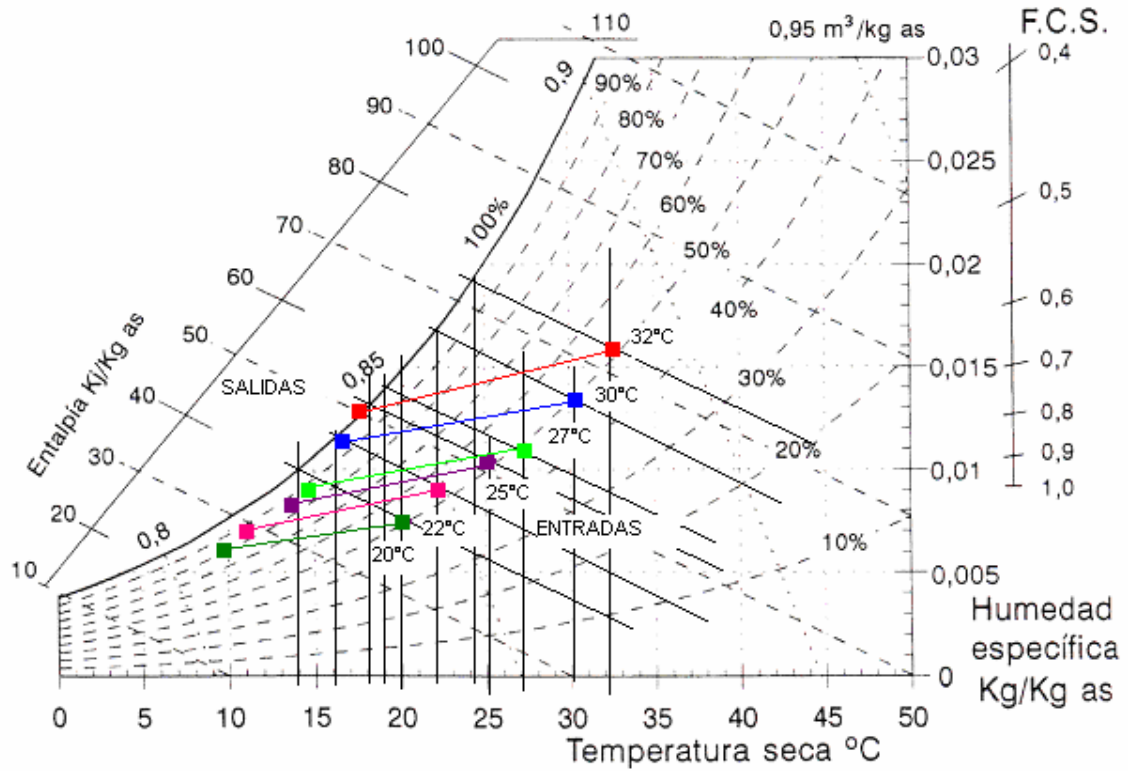


figura 5.128: Puntos de entrada y de salida del catálogo

A continuación se representa la evolución del factor de bypass y de la temperatura de ADP respecto la temperatura interior de bulbo húmedo.

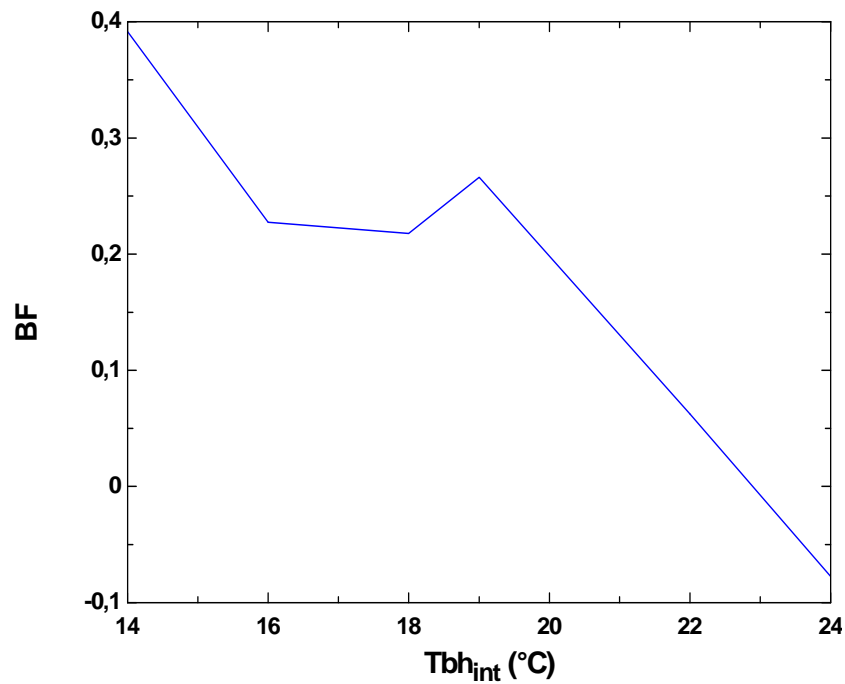


figura 5.129: Factor de bypass frente temperatura interior de bulbo húmedo para el equipo FFQ35B+RXS35B, de Daikin.

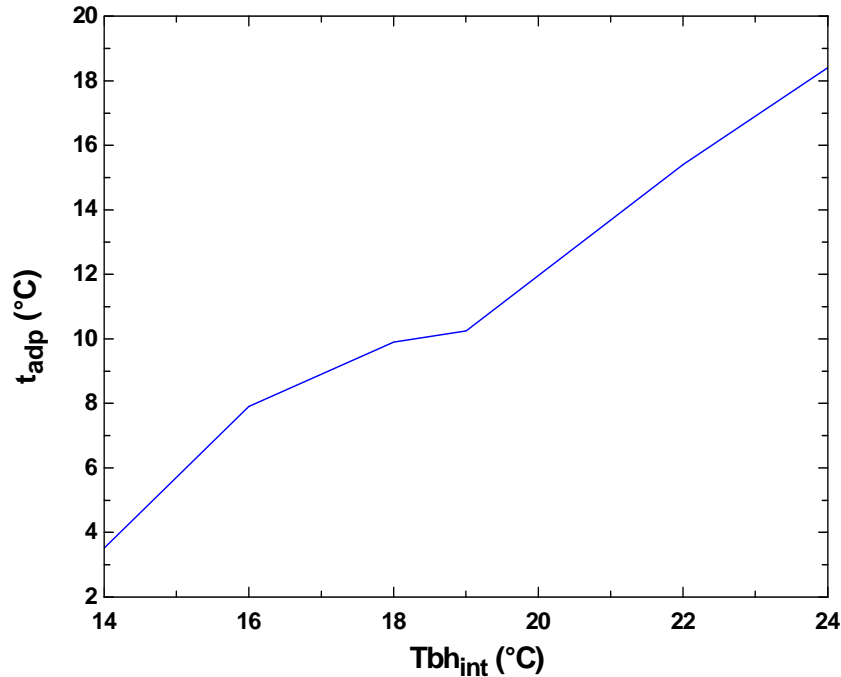


figura 5.130: Temperatura de ADP, frente temperatura interior de bulbo húmedo para el equipo FFQ35B+RXS35B, de Daikin.

5.3.2. Variación del factor de Bypass y de la temperatura de ADP respecto la temperatura exterior

- Equipos de 12 kW

Para el equipo 50YZ048 de Carrier, se dan a continuación los valores del factor de bypass, temperatura seca y entalpía del aire de salida cuando se varía la temperatura del aire exterior, para una temperatura interior de bulbo húmedo de 19°C y de bulbo seco de 27°C.

Temperatura Exterior (°C)	Entalpía de salida del aire (kJ/kg)	Temperatura seca del aire de salida (°C)	Factor de bypass	Humedad relativa del aire a la salida (%/100)	Temperatura de ADP (°C)
25	37,82	15,3	0,2609	0,8154	11,16
30	38,26	15,72	0,2951	0,7944	10,98
35	39,06	16,14	0,3083	0,786	11,28
40	39,97	16,38	0,2907	0,7961	12,02
46	41,31	17,11	0,3176	0,7796	12,49

Tabla 5.37: Entalpía de salida, temperatura seca del aire de salida, factor de bypass y temperatura de ADP en función de la temperatura exterior, para el equipo 50YZ048, de Carrier.

En el siguiente gráfico se representan el punto de entrada y los distintos puntos de salida para los que se han obtenido los valores anteriores. Se puede observar como los puntos de salida se sitúan sobre la curva de humedad relativa del 80%.

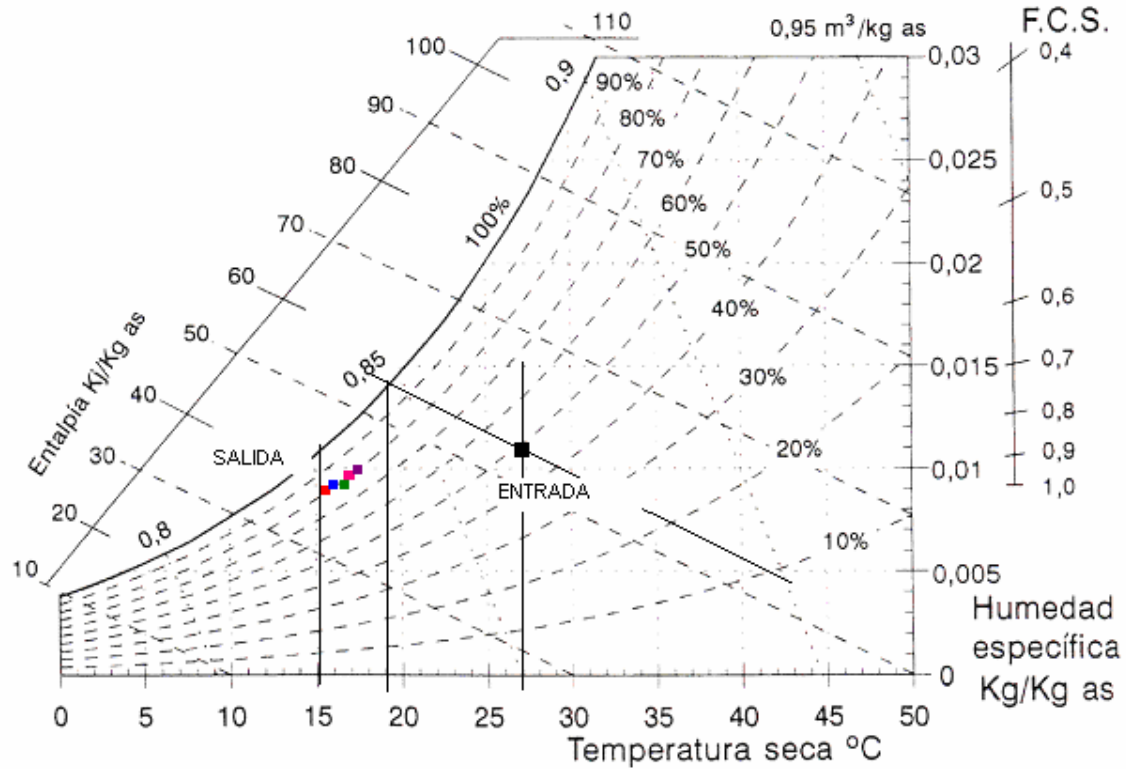


figura 5.131: Puntos de entrada y de salida del catálogo

La variación del factor de bypass y la temperatura de ADP con la temperatura exterior se representa en el siguiente gráfico.

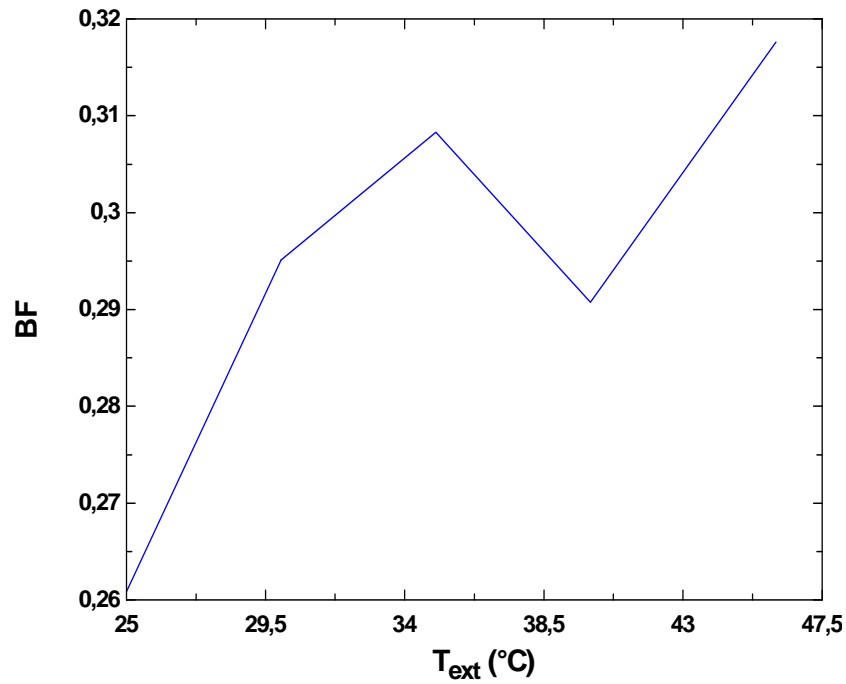


figura 5.132: Factor de bypass frente temperatura exterior , para el equipo 50YZ048, de Carrier.

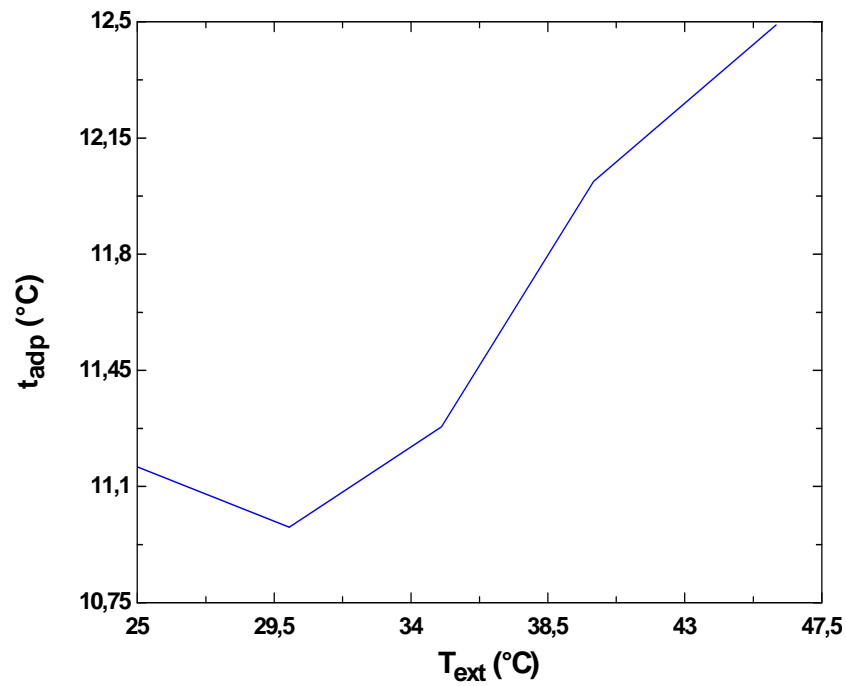


figura 5.133: Temperatura de ADP frente temperatura exterior , para el equipo 50YZ048, de Carrier.

En el equipo de Daikin, los valores de el factor de bypass, temperatura seca interior de salida y entalpía de salida variando la temperatura exterior, para una temperatura interior

de bulbo húmedo de 19°C y una de bulbo seco de 27°C, se obtienen los siguientes valores.

Temperatura exterior (°C)	Entalpía de salida del aire (kJ/kg)	Temperatura seca del aire de salida (°C)	Factor de bypass	Humedad relativa del aire a la salida (%/100)	Temperatura de ADP (°C)
20	33,8	13,07	0,1789	0,8705	10,02
25	34,25	13,79	0,2619	0,8188	9,08
32	35,14	14,23	0,2699	0,8128	9,487
35	35,88	14,53	0,266	0,8141	9,984
40	36,92	14,82	0,245	0,8259	10,85
46	37,95	15,26	0,247	0,824	11,4

Tabla 5.38: Factor de bypass, temperatura de ADP, entalpía de salida del aire y temperatura seca de salida en función de la temperatura exterior para el equipo FHYBP125+RYP125 de Daikin.

Ahora se representan los puntos de salida, y se observan que todos quedan entre la curva 80% y 90% de humedad relativa.

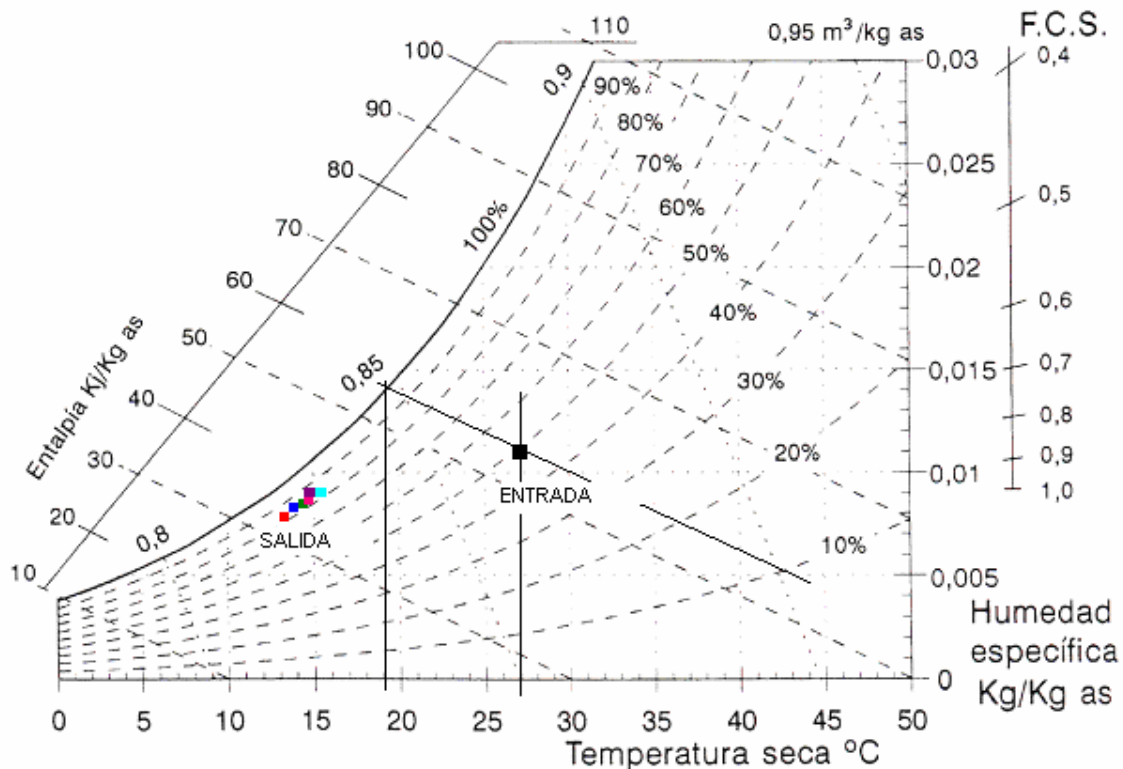


figura 5.134: Puntos de entrada y de salida del catálogo

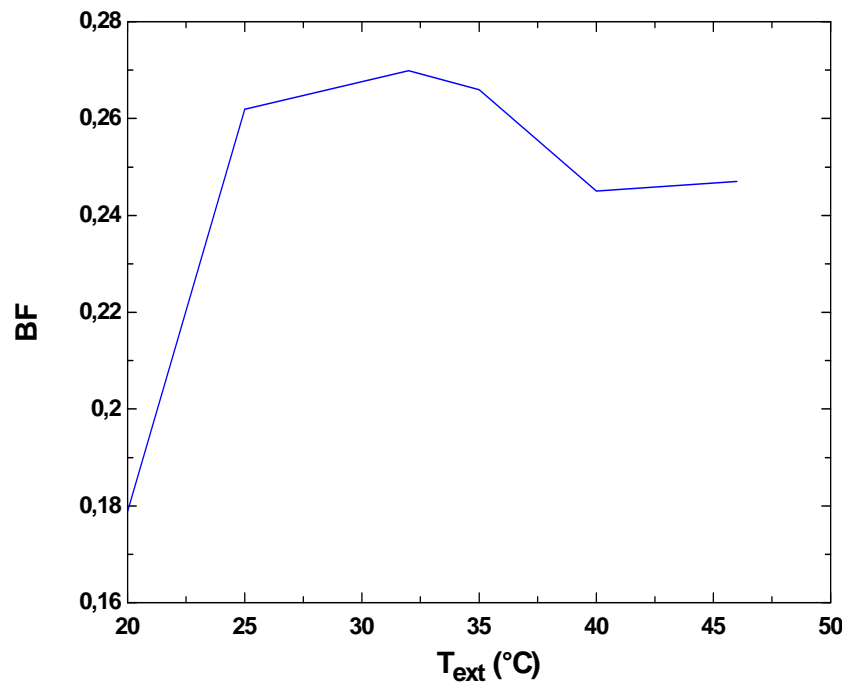


figura 5.135: Factor de bypass frente temperatura exterior para el equipo FHYBP125B+RYP125 de Daikin.

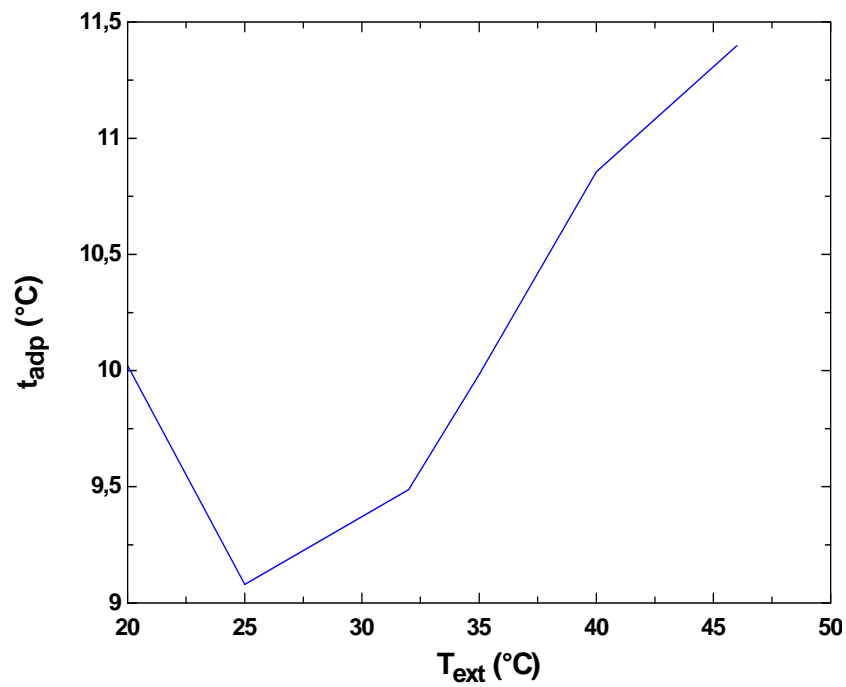


figura 5.136: Temperatura de ADP frente temperatura exterior para el equipo FHYBP125B+RYP125 de Daikin.

Para Hitachi, los valores de la entalpía del aire de salida, la temperatura seca de salida y el factor de bypass para una temperatura interior de bulbo húmedo de 20°C y una temperatura de bulbo seco 27°C, son los siguientes.

Temperatura exterior (°C)	Entalpía de salida del aire (kJ/kg)	Temperatura seca del aire de salida (°C)	Factor de bypass	Humedad relativa del aire a la salida (%/100)	Temperatura de ADP (°C)
21	36,82	14,08	0,1771	0,8927	11,28
25	37,27	14,23	0,1712	0,8955	11,57
30	38,01	14,52	0,1704	0,8953	11,94
35	38,31	14,52	0,1508	0,9062	12,29
40	39,2	14,96	0,1658	0,8971	12,56

Tabla 5.39: Factor de bypass, temperatura de ADP, entalpía de salida del aire y temperatura seca del aire de salida en función de la temperatura exterior de bulbo seco para el equipo RPI5HG7E+RAS5G7E, de Hitachi.

En la representación del punto de entrada y de los puntos de salidas sobre el diagrama psicrométrico se observa que los puntos de salida se sitúan sobre curva de humedad relativa del 90%.

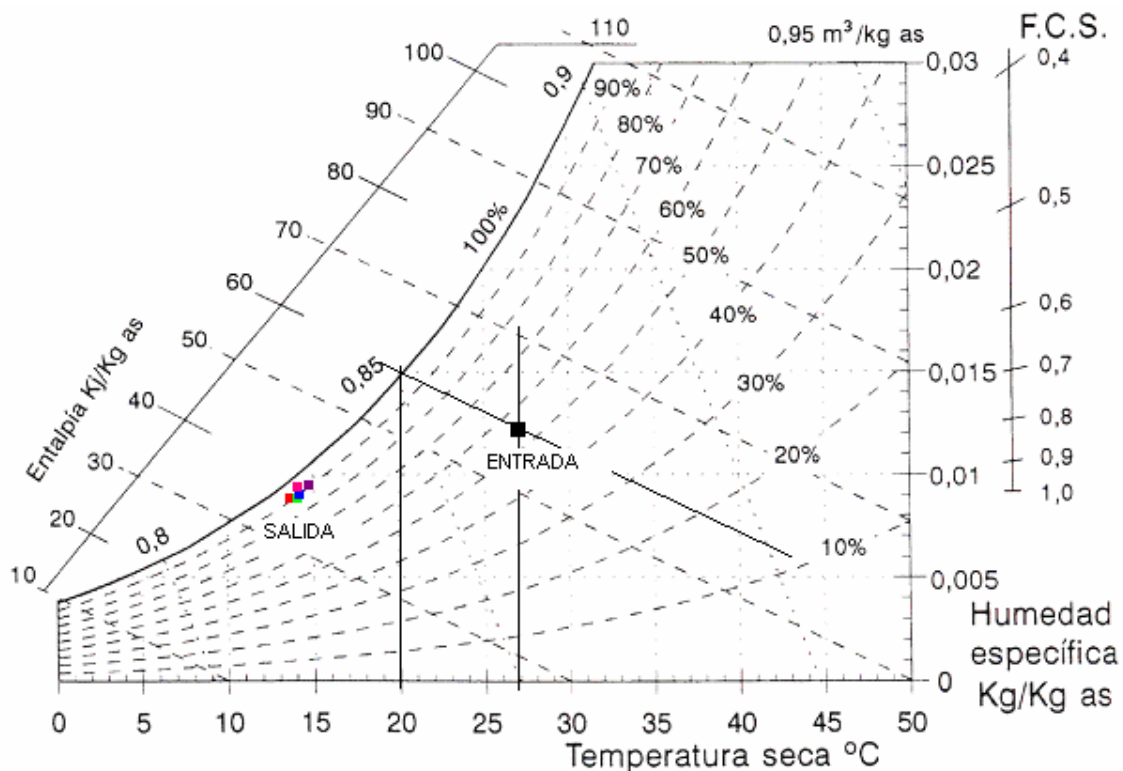


figura 5.137: Puntos de entrada y de salida del catálogo

La variación del factor de bypass y la temperatura de ADP respecto la temperatura exterior se representa en el siguiente gráfico.

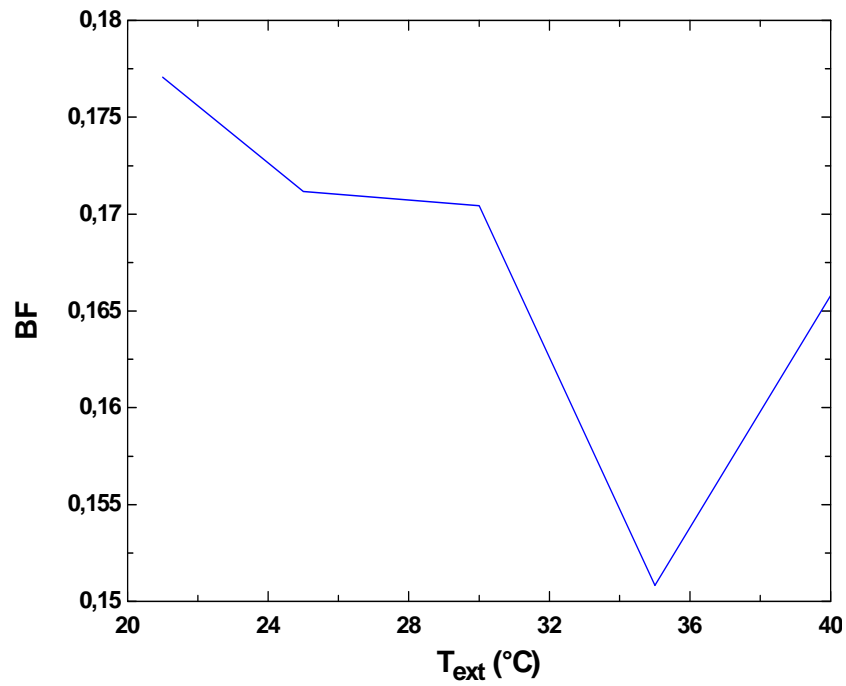


figura 5.138: Factor de bypass frente temperatura exterior para el equipo RPI5HG7E+RAS5G7E de Hitachi.

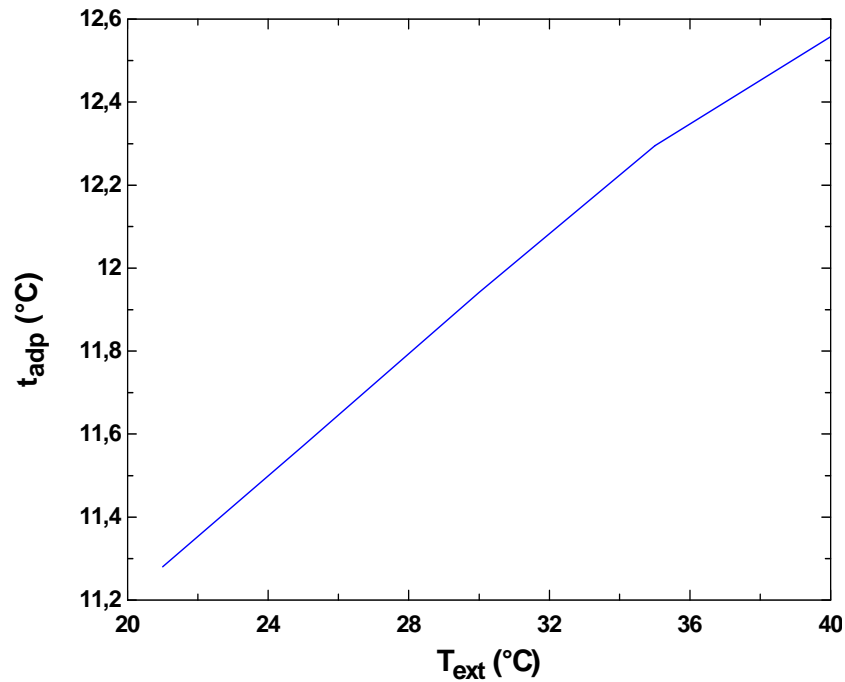


figura 5.139: Temperatura de ADP, frente temperatura exterior para el equipo RPI5HG7E+RAS5G7E de Hitachi.

- *Equipos de 3 kW*

El equipo 38BH012G+40SMC012 de Carrier no se determina la evolución del factor de bypass respecto la temperatura exterior, porque, como ya se indicó, cuando se estudiaba la variación con la temperatura interior, no se dan en el catálogo los valores de la temperatura interior de aire seco.

Para Daikin, los valores del factor de bypass, entalpía del aire de salida y temperatura seca del aire, que se obtienen para una temperatura interior de bulbo húmedo de 19°C y de bulbo seco de 27°C, son los siguientes, los cuales no coinciden con el valor constante de 0.25 que se da en el catálogo:

Temperatura exterior (°C)	Entalpía de salida del aire (kJ/kg)	Temperatura seca del aire de salida (°C)	Factor de bypass	Humedad relativa del aire a la salida (%/100)	Temperatura de ADP (°C)
20	34,25	13,24	0,1759	0,8721	10,29
25	34,87	13,7	0,2053	0,8526	10,25
30	35,55	14,16	0,2314	0,8355	10,27
32	35,86	14,41	0,2499	0,8238	10,2
35	36,32	14,72	0,2662	0,8134	10,24
40	37,05	15,23	0,2967	0,7946	10,24

Tabla 5.40: Factor de Bypass, temperatura de ADP, entalpía del aire de salida y temperatura seca de salida en función de la temperatura exterior de bulbo seco para el equipo FFQ35B+RXS35B, de Daikin.

Ahora se representan la situación de los puntos de entrada y de salida que se han estudiado sobre el diagrama psicométrico.

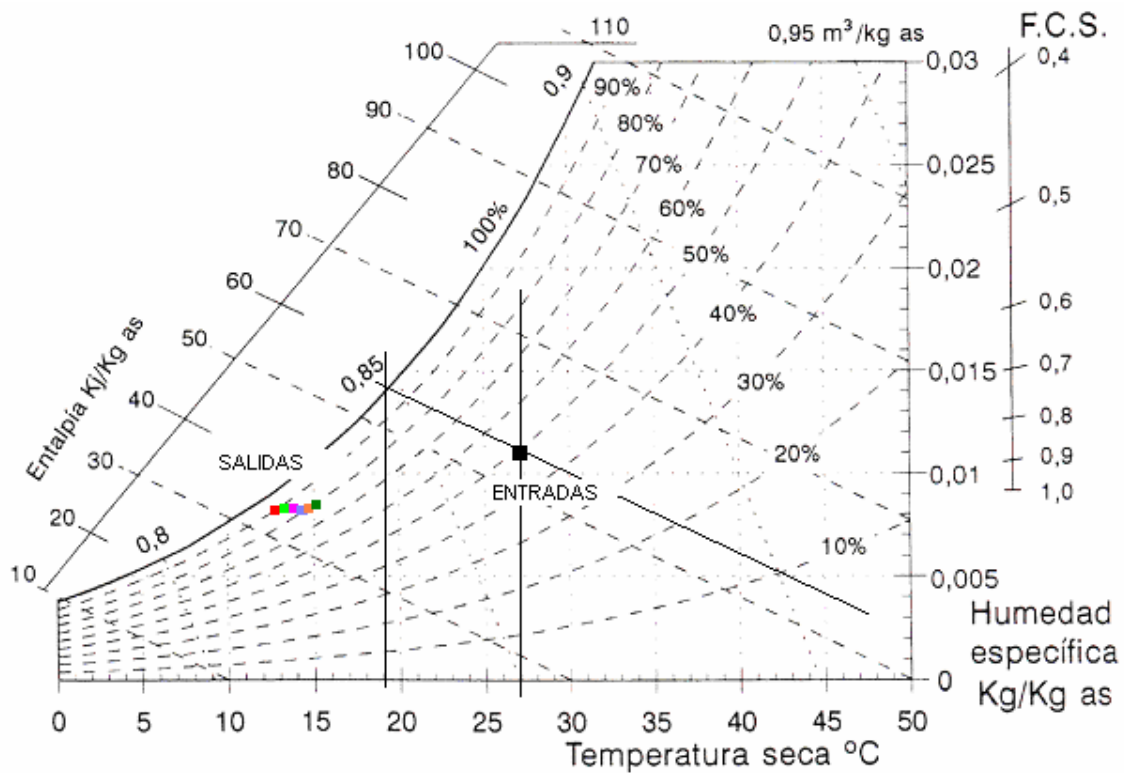


figura 5.140: Puntos de entrada y de salida del catálogo

El factor de bypass y la temperatura de ADP respecto la temperatura exterior se representan en el siguiente gráfico.

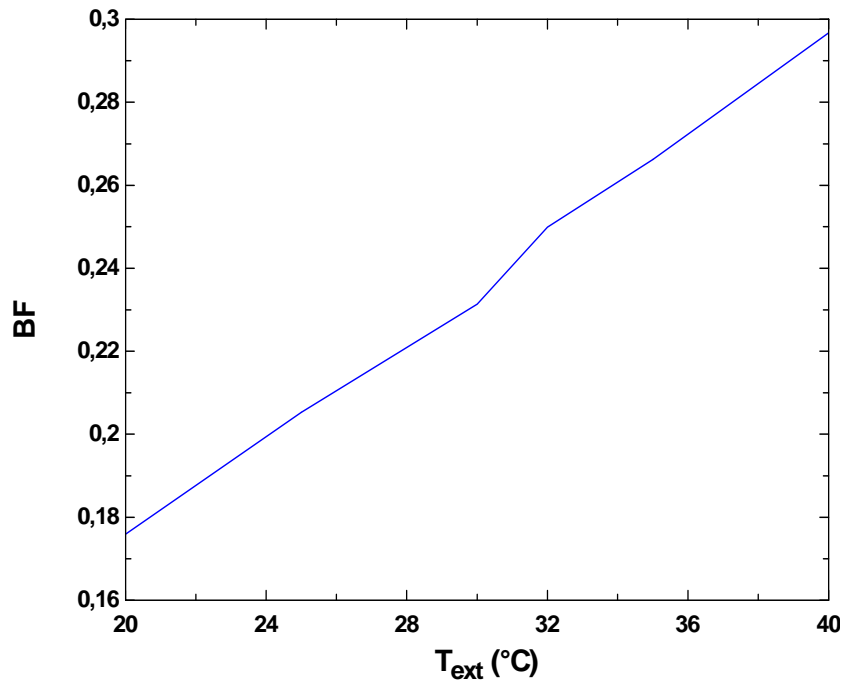


figura 5.141: Factor de bypass frente temperatura exterior para el equipo FFQ35B+RXS35B, de Daikin.

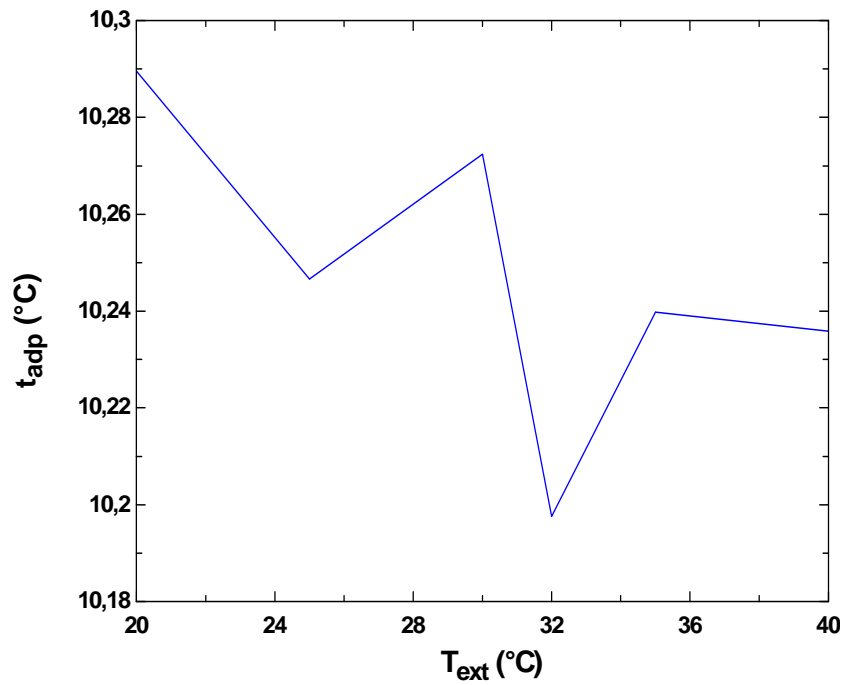


figura 5.142: Temperatura de ADP frente temperatura exterior para el equipo FFQ35B+RXS35B, de Daikin.

6. CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS

A la hora de la selección de un equipo es necesario recurrir a los catálogos, y comprender todos los datos que en ellos se incluyen para asegurarnos de que se está seleccionando el equipo más adecuado. Esta labor no es nada fácil debido a la cantidad de información que suministran los catálogos y a que esta información no está clara.

Del análisis realizado durante el proyecto a equipos autónomos y enfriadoras de agua, se han observado aspectos como que en equipos similares, cada marca comercial es la que decide que dato ofrecer o no en sus catálogos. Es decir, no hay ninguna norma que indique para un tipo concreto de equipos cual es la información que debe darse y de qué manera debe darse.

Para hacer buen uso de los catálogos, hay que entender perfectamente a qué se refiere cada uno de los conceptos que se dan en ellos. La gran cantidad de conceptos que se manejan en los catálogos y la manera de denominarse, a veces puede resultar confusa.

Por ejemplo, cuando dan el dato de capacidad frigorífica en las enfriadoras de agua, no se indica qué tipo de capacidad es. Es decir, no se sabe si es la capacidad frigorífica bruta que certifica Eurovent o si es la capacidad total.

Como ya se ha comentado, cada catálogo da unas tablas de capacidades distintas. Se puede encontrar, por ejemplo, un catálogo de un equipo autónomo que de la capacidad frigorífica total (kW), el consumo del compresor (kW) y las pérdidas de carga en el evaporador (kPa), y otro catálogo que de la capacidad frigorífica total (kW), el consumo total (kW), y dos lecturas de manómetro, uno de alta y otro de baja, en (bar). Al final, en los dos equipos se está dando una capacidad total de refrigeración, sin embargo, los consumos no se pueden comparar y aunque los dos ofrezcan las pérdidas de carga se dan de manera distinta.

Las unidades también las dan de distinta forma, así se puede ver en el ejemplo anterior las pérdidas de carga, o los caudales que en algún catálogo se dan en m³/h, y en otro catálogo en l/s. Con los caudales existe el problema añadido de que no se indican en el punto que han sido hallados ni a la unidad que corresponden.

Otro problema fundamental de los catálogos es que en las tablas de capacidades no se dan los mismos puntos en temperatura. Si no se conocen los datos en los mismos puntos, ¿Cómo es posible comparar equipos?. Por ejemplo, si quiero saber qué enfriadora me convendrá más para utilizarla con una temperatura exterior de 37°C, en Hitachi sí se conocen los datos a esta temperatura, pero en Carrier y Daikin no, entonces

la solución que se toma es interpolar entre los puntos más próximos, y al hacer esta interpolación no se sabe el error que se comete.

Todo esto da idea de la necesidad de la normalización de la información técnica que se dan en los catálogos. Es fundamental que se completen las tablas de datos y que en ellas se den los mismos datos, que estos datos estén completamente definidos en los catálogos, que se den en las mismas unidades y que se den en los mismos puntos.

Esto haría que se crearan unas tablas estándar, donde se dieran los mismos datos para todos los equipos, hallados en las mismas condiciones y en los mismos puntos.

Hoy en día, gracias a la existencia de la normalización de Eurovent, todos los equipos que quieran tener el distintivo de certificación de Eurovent, tienen que someter sus equipos a unos ensayos determinados, con estos ensayos se certifican una serie de características de los equipos en unas condiciones determinadas de temperaturas.

Esto facilita mucho la creación de las tablas estándar, ya que si se han tenido que certificar una serie de datos que son iguales para todos los equipos, si se dieran en todos los catálogos estos datos, no habría problemas de confusión, a parte, porque se usarían los nombres que utiliza Eurovent.

Como ya se ha indicado Eurovent solo certifica la información en un punto. Un aspecto que mejoraría estas tablas estándar sería normalizar los ensayos fuera de las condiciones de Eurovent, ya que en realidad, los datos en los puntos que dan las tablas de capacidades fuera de las condiciones nominales no los certifica nadie, simplemente es información aportada por cada marca, y no se puede saber hasta que punto es factible.

Por ejemplo, durante el estudio, se han encontrado casos como que al estudiar el punto de salida que se obtiene en un equipo de Carrier, con unas temperaturas de entrada, una potencia frigorífica y una capacidad sensible, este punto de salida quedaba totalmente por fuera de el diagrama psicométrico, es decir, este punto en realidad es imposible. Pueden ocurrir dos factores, que las capacidades en realidad no sean las que se dan o que la temperatura no sea la que se indica. Si se supone que la temperatura está bien, ¿De qué forma se ha hallado la capacidad para que salga el punto en ese sitio?. Este problema de datos erróneos sería resuelto simplemente con que en los puntos definidos en las tablas estándar los datos fuesen normalizados.

A parte, durante el estudio, se han encontrado otros errores como pueden ser que en dos apartados del mismo catálogo se de el dato de la capacidad frigorífica nominal con distinto valor, cuando supuestamente es una característica que ha sido certificada por

Eurovent. Otro caso puede ser que se señalen las características nominales en otras temperaturas fuera de las condiciones nominales, por ejemplo, la capacidad calorífica que sus condiciones nominales son 6°C de temperatura exterior de bulbo húmedo, señalan sus características nominales a 7°C de temperatura exterior de bulbo húmedo.

Otro aspecto con lo que se podrían mejorar estas tablas estándar que se proponen respecto las tablas que existen hoy en día, es que se podrían dar los datos funcionando los equipos a carga parcial. Normalmente, los equipos no trabajan al 100% de carga, sino que gran parte de su vida útil lo hacen a carga parcial. Lo más interesante es poder comparar consumos reales de los equipos trabajando a carga parcial, por lo que se debería dar la misma información que se da en carga completa a carga parcial.

Con estas propuestas se mejoraría la información dada para los equipos. Aunque este estudio se puede mejorar al hacerlo extensible en futuros estudios a otros equipos como pueden ser enfriadoras de agua reversibles condensadas por agua y equipos autónomos condensados por agua. También sería interesante ampliarlo para equipos de otras potencias, centrarse en equipos inverter y no comparar un equipo inverter con otro que no lo sea como se ha hecho aquí, estudiar equipos de caudal variable en bomba de calor y recuperación de calor, etc.

ANEXO: TABLAS DE CARACTERÍSTICAS DE EQUIPOS DE CLIMATIZACIÓN.

En este anexo se recogen las características de los siguientes equipos de climatización, para las marcas Carrier, Daikin e Hitachi.

- Equipos autónomos, solo frío.
 - Condensado por aire, tipo pared.
 - Condensado por aire, tipo suelo-techo.
 - Condensado por aire, tipo cassette.
 - Condensado por aire, tipo conductos.

- Equipos autónomos, reversibles.
 - Condensado por aire, tipo pared.
 - Condensado por aire, tipo suelo-techo.
 - Condensado por aire, tipo conductos.
 - Condensado por aire, tipo cassette.
 - Condensado por agua, compactos, de conductos.
 - Condensado por agua, partido y de pared.

- Equipos Multi- Splits.
 - Equipos Multi-Splits reversibles.
 - Equipos Multi-Splits solo frío.

- Enfriadoras de agua.
 - Enfriadoras de agua, solo frío, condensadas por aire.
 - Enfriadoras de agua, solo frío, condensadas por agua.
 - Enfriadoras de agua, reversibles, condensadas por aire.
 - Enfriadoras de agua, reversibles, condensadas por agua.

- Equipos VRV.
 - Unidades interiores.
 - Unidades exteriores.

Bibliografía

“Manual práctico del aire acondicionado. Frío y Calor”

Autor: David V. Chadderton

Editorial: A. Madrid Vicente, Ediciones. Año 2000

“La bomba de Calor. Fundamentos, Técnicas y Aplicaciones”

Autor: Román Monasterio Larrinaga, Pedro Hernández Martín, Javier Saiz Hernández.

Editorial: McGraw-Hill

“Ingeniería del frío: Teoría y práctica”

Autor: M^a Teresa Sánchez y Pineda de las Infantas

Editorial: A. Madrid Vicente, Ediciones. Año 2001

“Tecnología de la refrigeración y aire acondicionado.IV”

Autor: William C. Whitman, Willilam M.Johnson

Editorial: Paraninfo Thomson Learning. Año 2000

“Tipos de bombas de calor. Principios de funcionamiento”

Autor: A. Rahman Al –Kassir, J.Gañan, R. Al-Kassir Alkarany

Editorial: Revista Montajes e Instalaciones.

“Sistema VRV para el acondicionamiento de aire”

Autor: Dorta Parcensa, Gas Fort.

Editorial: Revista Técnica Industrial. N° 246. Año 2002

Apuntes de la asignatura Instalaciones térmicas en la edificación

Autor: Ramón Velázquez.

Escuela Técnica Superior de Ingenieros. Universidad de Sevilla

Año: 2004

Apuntes de la asignatura Tecnología frigorífica.

Autor: Juan Francisco Coronel Toro

Escuela Técnica Superior de Ingenieros. Universidad de Sevilla

Año 2003.

www.carrier.es

www.daikin.es

www.hitachi.com

www.frigicoll.es

Manual de Servicio. Equipos de climatización y refrigeración.

Daikin. Año 2005

