



ASOCIACIÓN DE FABRICANTES DE EQUIPOS DE CLIMATIZACIÓN

La Bomba de calor : fundamentos, tecnología y casos prácticos

Madrid : AFEC, Asociación de Fabricantes de Equipos de Climatización, D.L. 2015

340 p. : il. col. ; 24 cm.

Glosario de términos y acrónimos

Referencias legislativas

D.L. M. 4128-2015

ISBN 978-84-606-5447-6

1. Bomba de calor 2. Acondicionamiento térmico 3. Eficiencia energética
4. Energías renovables

10.04 Acondicionamiento térmico

COAM 17460

La Bomba de Calor

*Fundamentos,
Tecnología y
Casos Prácticos*

AFEC

La Bomba de Calor

**Fundamentos,
Tecnología y
Casos Prácticos**



asociación de fabricantes
de equipos de climatización

Edita:

AFEC (Asociación de Fabricantes de Equipos de Climatización)
C/ Francisco Silvela, 69. 28028 Madrid
Teléfono: 91 402 73 83. Fax: 91 401 79 27
www.afec.es - afec@afec.es

Producción y Realización:

AFEC

Diseño y Maquetación:

Jes Diseño y Producción, S.L.
Teléfono: 91 534 46 83 / 630 455 086
jes@jesdp.es

Impresión:

Industrias Gráficas El Instalador

ISBN: 978-84-606-5447-6

D.L.: M-4128-2015

Comité de Redacción

Enrique Gómez (CARRIER)
José Antonio Romero (DAIKIN)
Miguel Zamora (CIAT)

Pilar Budí (AFEC)
Manuel Herrero (AFEC)
José M^a Ortiz (AFEC)
Cecilia Salamanca (AFEC)

Redactores

José Ángel Asensio (NICOTRA)
Pedro Barrio (CLIVET)
Guillermo Basurco (HITOP)
Pilar Budí (AFEC)
Albert Casablanca (JOHNSON CONTROLS)
Alberto Esteban (LUMELCO)
Gorka Goiri (SAUNIER DUVAL)
Enrique Gómez (CARRIER)
Manuel Herrero (AFEC)
Germán Hevia (JOHNSON CONTROLS)
David de la Merced (HITACHI)
Marco Motta (TOPCLIMA)
José M^a Ortiz (AFEC)
Enrique Pérez (JOHNSON CONTROLS)
André Pierrot (CEIS)
Marcos Prieto (EBM-PAPST)
José Antonio Romero (DAIKIN)
Jaime Ruiz (VAILLANT)
Cecilia Salamanca (AFEC)
Joao Santiago (ROBERT BOSCH)
Félix Sanz (DANFOSS - revisión de textos)
Javier Toledano (PANASONIC)
Miguel Zamora (CIAT)

Patrocinadores

AIRLAN, ARISTON, CARRIER, CIAT, CLIVET, DAIKIN, EUROFRED, HITACHI, HITECSA, JOHNSON CONTROLS, KEYTER, LENNOX, LG ELECTRONICS, LUMELCO, MITSUBISHI ELECTRIC, PANASONIC, ROBERT BOSCH, SAUNIER DUVAL, SEDICAL, SYSTEMAIR, TERMOVEN, TOSHIBA HVAC, VAILLANT.

Con el Apoyo Institucional de



Agencia Andaluza de la Energía
CONSEJERÍA DE ECONOMÍA, INNOVACIÓN, CIENCIA Y EMPLEO



EVE | Ente Vasco de la Energía



Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid



Generalitat de Catalunya
Institut Català d'Energia



iVACE
ENERGÍA



Govern de les Illes Balears
Conselleria d'Economia i Competitivitat
Direcció General d'Indústria i Energia

Con el Aval de



Con el Patrocinio de



Prólogo

Los principios termodinámicos sobre los que se fundamenta la bomba de calor son tan conocidos y, a su vez, se ha escrito tanto sobre esta tecnología y sus aplicaciones que pudiera parecer una osadía intentar escribir algo nuevo sobre estos equipos.

Sin embargo, a la luz de los requisitos demandados por las sucesivas Directivas sobre Eficiencia Energética, Uso de la Energía Procedente de Fuentes Renovables, etc., y de los Reglamentos de Ecodiseño, la bomba de calor renueva su actualidad al convertirse en una de las pocas tecnologías capaces de utilizar las energías renovables de forma eficiente.

Por otro lado, la rápida evolución de los componentes que incorporan estos equipos y la de los elementos terminales conectados a ellos, han permitido, en tiempos relativamente recientes, ampliar considerablemente su campo de aplicación ocupando nichos reservados, hasta hace poco, a otros equipos y tecnologías.

Para recoger estos avances, actualizar la información disponible sobre la bomba de calor, señalar alguno de esos citados nuevos usos y, sobre todo, para contribuir a su difusión y al fomento de su utilización, se ha editado este libro que nace con la vocación de convertirse en el documento de referencia sobre esta tecnología, tanto para profesionales como para estudiantes y personas interesadas en ampliar sus conocimientos acerca de estos equipos.

Si esto se consiguiera al menos en parte, quedarían plenamente justificados los esfuerzos y el tiempo dedicado por las personas que han colaborado de forma desinteresada en la redacción de este libro, y cuya relación se recoge como señal de agradecimiento por su trabajo.

Este agradecimiento es igualmente extensible a aquellas empresas que, mediante su patrocinio, han hecho posible la edición de esta publicación y a aquellas entidades y organismos que nos han brindado su apoyo institucional.

Índice

Página

1. Introducción	17
2. La Bomba de Calor	19
3. La Bomba de Calor y el Medio Ambiente	21
3.1 Energía Renovable	21
3.1.1 Definición	21
3.1.2 Tipos	21
3.1.3 La bomba de calor y la energía renovable	22
3.1.4 Ejemplo de cálculo	25
3.2 Eficiencia Energética	26
3.3 Emisiones de CO₂	29
3.4 Refrigerantes	31
3.4.1 Refrigerantes naturales	34
3.4.2 Otros refrigerantes alternativos	34
3.4.3 Sustitución del R-22	35
3.5 Normativa Medioambiental	36
4. Transferencia Energética en la Bomba de Calor	41
4.1 Esquema General y Análisis Termodinámico	41
4.2 Funcionamiento de la Bomba de Calor	43
4.2.1 El ciclo frigorífico	44
4.2.2 El ciclo frigorífico en la bomba de calor	45
4.2.3 El diagrama presión-entalpía (P-h)	47
4.2.4 Determinación de la capacidad frigorífica/calorífica coeficientes EER/COP	50
4.2.5 Componentes del circuito frigorífico	51
4.2.6 Utilidad del diagrama P-h para verificación del comportamiento del equipo	52
4.3 Bombas de Calor Accionadas Eléctricamente	58
4.3.1 Bomba de calor aire-aire	58
4.3.2 Bomba de calor aire-agua	58
4.3.3 Bomba de calor agua-aire	59
4.3.4 Bomba de calor agua-agua	60
4.3.5 Bomba de calor multiciclo	60
4.3.6 Bomba de calor geotérmica	62
4.4 Bombas de Calor Accionadas a Gas	64

4.5 Bombas de Calor Accionadas Térmicamente	65
4.6 Rangos de Operación	66
5. Tecnología	69
5.1 Componentes del Circuito Frigorífico	69
5.1.1 Compresores	70
5.1.1.1 Compresor rotativo	70
5.1.1.2 Compresor scroll	72
5.1.1.3 Compresor de tornillo	74
5.1.1.4 Tecnologías de compresión en dos etapas	77
5.1.2 Condensadores	83
5.1.3 Elementos de expansión	86
5.1.4 Evaporadores	88
5.1.5 Válvulas de 4 vías	89
5.1.6 Otros componentes	90
5.2 Otros Componentes de la Bomba de Calor	91
5.2.1 Ventiladores y motores	91
5.2.2 Bombas hidráulicas	94
5.2.3 Sistemas de humidificación integrados	97
5.3 Control	97
5.3.1 Sistemas de control de la máquina	97
5.3.2 Control de capacidad	98
5.3.2.1 Sistema inverter	98
5.3.2.2 Válvula corredera en compresores de tornillo	104
5.3.2.3 Control de capacidad multietapa	106
5.3.3 Gestión del desescarche	107
5.3.3.1 Formación de escarcha en equipos condensados por aire	107
5.3.3.2 Inversión de ciclo	110
5.3.3.3 Material de cambio de fase	112
5.3.4 Gestión de la eficiencia energética	113
5.3.4.1 Temperatura variable de refrigerante	113
5.3.4.2 Gestión de caudal de agua variable en primario o en instalaciones de circuito único	115
5.3.4.3 Reajuste de la temperatura de consigna de agua en función de la temperatura exterior	115
5.3.4.4 Optimización de la temperatura en bucle de agua	116
5.3.5 Gestión centralizada de la instalación	117
6. Aplicaciones y Consideraciones para la Selección de la Bomba de Calor	119
6.1 Aplicaciones	119
6.1.1 Tipologías de bombas de calor empleadas en climatización	119
6.1.2 Introducción a los sistemas de climatización	120
6.1.2.1 Sistemas de aire	120
6.1.2.2 Sistemas hidrónicos	124

6.1.3 Producción de agua caliente sanitaria	129
6.1.4 Bombas de calor para piscinas cubiertas	134
6.1.5 Bombas de calor para el aprovechamiento del aire de extracción	136
6.2 Consideraciones para la Selección de la Bomba de Calor	138
6.2.1 Relación entre la temperatura exterior y la capacidad calorífica	138
6.2.2 Capacidad instantánea vs. capacidad integrada o corregida	139
6.2.3 Capacidad vs. líneas de refrigerante	140
6.2.4 Límites de operación	140
6.2.5 Selección de la unidad bomba de calor	142
7. Pruebas y Ensayos de la Bomba de Calor	145
7.1 Métodos de Ensayo para la Medida de la Potencia Térmica	146
7.1.1 Método de entalpía en líquido	148
7.1.2 Método de entalpía en aire	150
7.1.3 Método calorimétrico	152
7.1.4 Comparación de los tres métodos	156
7.2 Métodos de cálculo, Condiciones y Procedimientos de Ensayo para la Medida de la Eficiencia Energética Estacional	157
7.2.1 Métodos de cálculo, condiciones y procedimientos de ensayo	157
7.2.1.1 Medidas y cálculo del SEER y del SEER _{on} de referencia	157
7.2.1.2 Medidas y cálculo del SCOP y del SCOP _{on} de referencia	160
7.2.2 Caso general para las eficiencias estacionales	164
7.3 Método de Ensayo para la Medida del Nivel de Potencia Acústica	165
8. Ejemplos Prácticos de uso de la Bomba de Calor	171
8.1 Sector Residencial	171
8.1.1 Vivienda unifamiliar con bomba de calor aire-agua	171
8.1.1.1 Descripción del edificio y necesidades de climatización	171
8.1.1.2 Descripción del sistema adoptado	172
8.1.1.3 Perfil de cargas de la instalación	173
8.1.1.4 Selección del equipo	174
8.1.1.5 Conclusión	178
8.1.2 Vivienda unifamiliar con bomba de calor agua-agua geotérmica	178
8.1.2.1 Descripción del edificio y necesidades de climatización	178
8.1.2.2 Descripción del sistema adoptado	179
8.1.2.3 Perfil de cargas y análisis del consumo y eficiencia	181
8.1.2.4 Conclusión	182
8.1.3 Vivienda unifamiliar con sistema híbrido y bomba de calor aire-agua	182
8.1.3.1 Descripción del edificio y necesidades de climatización	182
8.1.3.2 Descripción del sistema adoptado	184
8.1.3.3 Perfil de cargas y análisis del consumo y eficiencia	185
8.1.3.4 Conclusión	187
8.1.4 Edificio de viviendas con bomba de calor aire-agua	187
8.1.4.1 Descripción del edificio y necesidades de climatización	187
8.1.4.2 Descripción del sistema adoptado	187

8.1.4.3 Perfil de cargas y análisis del consumo y eficiencia	188
8.1.3.4 Conclusión	190
8.2 Sector Comercial	190
8.2.1 Edificio de oficinas con bomba de calor aire-agua	191
8.2.1.1 Descripción del edificio y necesidades de climatización	191
8.2.1.2 Descripción del sistema adoptado	192
8.2.1.3 Perfil de cargas y análisis del consumo y eficiencia	193
8.2.3.4 Conclusión	196
8.2.2 Tienda de proximidad con sistema VRF bomba de calor para climatización y refrigeración comercial	196
8.2.2.1 Descripción del local y necesidades de climatización	196
8.2.2.2 Descripción del sistema adoptado	198
8.2.2.3 Perfil de cargas y análisis del consumo y eficiencia	199
8.2.2.4 Conclusión	202
8.2.3 Climatización de una piscina cubierta mediante bomba de calor	203
8.2.3.1 Descripción del recinto y necesidades de climatización	203
8.2.3.2 Descripción del sistema adoptado	203
8.2.3.3 Perfil de cargas y análisis del consumo y eficiencia	206
8.2.3.4 Conclusión	210
8.2.4 Sucursal bancaria con bomba de calor aire-aire	210
8.2.4.1 Descripción del recinto y necesidades de climatización	210
8.2.4.2 Descripción del sistema adoptado	210
8.2.4.3 Perfil de cargas y análisis del consumo y eficiencia	212
8.2.4.4 Conclusión	213
8.2.5 Oficina bancaria con bomba de calor VRF centrífuga	213
8.2.5.1 Descripción del edificio y necesidades de climatización	213
8.2.5.2 Descripción del sistema adoptado	215
8.2.5.3 Perfil de cargas y análisis del consumo y eficiencia	218
8.2.5.4 Conclusión	220
8.2.6 Climatización de supermercado con equipo autónomo rooftop	221
8.2.6.1 Descripción del recinto y necesidades de climatización	221
8.2.6.2 Descripción del sistema adoptado	222
8.2.6.3 Perfil de cargas y análisis del consumo y eficiencia	225
8.2.6.4 Conclusión	228
8.3 Sector Terciario	228
8.3.1 Acuario	228
8.3.1.1 Necesidades de climatización y tratamiento de los hábitats	228
8.3.1.2 Descripción del sistema adoptado	229
8.3.1.3 Perfil de cargas y análisis del consumo y eficiencia	234
8.3.1.4 Conclusión	238
8.3.2 Residencia de la tercera edad	239
8.3.2.1 Descripción del edificio y necesidades de climatización	239
8.3.2.2 Descripción del sistema adoptado	239
8.3.2.3 Perfil de cargas y análisis del consumo y eficiencia	241
8.3.2.4 Conclusión	246

8.3.3 Centro de convivencia	246
8.3.3.1 Descripción del edificio y necesidades de climatización	246
8.3.3.2 Descripción del sistema adoptado	248
8.3.3.3 Perfil de cargas y análisis del consumo y eficiencia	249
8.3.3.4 Conclusión	252
8.3.4 Hotel de ciudad	252
8.3.4.1 Descripción del edificio y necesidades de climatización	252
8.3.4.2 Descripción del sistema adoptado	253
8.3.4.3 Perfil de cargas y análisis del consumo y eficiencia	256
8.3.4.4 Conclusión	267
8.3.5 Producción de ACS en un hotel	267
8.3.5.1 Descripción del edificio y necesidades de agua caliente sanitaria	267
8.3.5.2 Descripción del sistema adoptado	269
8.3.5.3 Perfil de cargas y análisis del consumo y eficiencia	270
8.3.5.4 Conclusiones	273
8.3.6 Calefacción de distrito (District Heating)	273
8.3.6.1 Descripción del sistema de climatización	274
8.3.6.2 Perfil de cargas y perfil climático de la instalación	277
8.3.6.3 Simulación energética. Eficiencia estacional de la instalación	279
8.3.6.4 Conclusión	285

9. Glosario de Términos y Acrónimos

9.1 Términos	287
--------------------	-----

9.2 Acrónimos	298
---------------------	-----

10. Referencias Legislativas, Normas y otros Documentos

10.1 Legislación Europea	303
--------------------------------	-----

10.2 Legislación Nacional	306
---------------------------------	-----

10.3 Normas	307
-------------------	-----

10.4 Otros Documentos	307
-----------------------------	-----

11. Empresas Patrocinadoras

The logo for AFEC, consisting of the letters 'AFEC' in a bold, white, sans-serif font. The letters are slightly shadowed to give a 3D effect, appearing to float above the background.

asociación de fabricantes
de equipos de climatización

Francisco Silvela, 69. - 28028 Madrid
Tel.: 91 402 73 83 - Fax: 91 401 79 27
www.afec.es - afec@afec.es