

# Sistema de Aire Acondicionado

## Tutorial para el trabajo en campo



**giz**

por encargo de



Ministerio Federal de  
Cooperación Económica  
y Desarrollo



México, D.F., Julio del 2015

El Comité Nacional de Productividad e Innovación Tecnológica, A.C. (COMPITE) agradece a la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH por la colaboración y asistencia técnica en la elaboración del presente documento. La colaboración de la GIZ se realizó bajo el marco del “Human Capacity Development” el cual se implementa por encargo del Ministerio Federal Alemán de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ). Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad del/ de los autor/es y no necesariamente representan la opinión de COMPITE y/o de la GIZ. Se autoriza la reproducción parcial o total, siempre y cuando sea sin fines de lucro y se cite la fuente de referencia.

Instituciones editoras por ej.: GIZ  
Aire Acondicionado – Tutorial para el trabajo en campo, México, D.F., julio de 2015

Edición y Supervisión: GIZ  
Autor: Tecener SA de CV  
Diseño: GIZ Mexico  
Foto de portada: [www.carrier.com](http://www.carrier.com)

Impreso en México

© El Comité Nacional de Productividad e Innovación Tecnológica, A.C. (COMPITE)  
Manuel María Contreras 133 p7,  
Col. Cuauhtémoc, Del. Cuauhtémoc  
C.P. 06500, México D.F.  
T +52 55 5322 0700  
E [promocion@compite.org.mx](mailto:promocion@compite.org.mx)  
I <http://www.compite.org.mx/>

© Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH  
Dag-Hammerskjöld-Weg 1-5  
65760 Eschborn/Alemania  
[www.giz.de](http://www.giz.de)

Oficina de Representación de la GIZ en México  
Torre Hemicor, Piso 11  
Av. Insurgentes Sur No. 826  
Col. Del Valle, Del. Benito Juárez  
C.P. 03100, México, D.F.  
T +52 55 55 36 23 44  
F +52 55 55 36 23 44  
E [giz-mexiko@giz.de](mailto:giz-mexiko@giz.de)  
I [www.giz.de](http://www.giz.de) / [www.gtz.de/mexico](http://www.gtz.de/mexico)

## Tabla de Contenido

<b>Resumen Ejecutivo .....</b>	<b>19</b>
<b>1 OBJETIVOS .....</b>	<b>22</b>
<b>2 BASES TEÓRICAS .....</b>	<b>23</b>
2.1 Introducción.....	23
2.2 Bases teóricas.....	23
2.2.1 Visión desde el punto de vista interior: .....	23
2.2.1.1 Ciclo de compresión .....	24
2.2.1.1.1 Nociones de diagrama entálpico.....	24
2.2.1.1.2 Descripción del ciclo frigorífico .....	25
2.2.1.3 Ciclo de absorción .....	29
2.2.1.3.1 Descripción de la absorción.....	29
2.2.1.4 Eficacia energética .....	32
2.2.1.4.1 COP y EER .....	32
2.2.1.4.2 Efecto de las variaciones de las condiciones.....	33
2.2.1.4.3 Valores comunes de EER según tipologías de sistemas ...	34
2.2.1.4.4 Nuevas reglamentaciones .....	35
2.2.2 Visión desde el punto de vista exterior: .....	36
2.2.2.1 Aportaciones internas .....	36
2.2.2.1.1 Aportaciones debidas a la ocupación .....	36
2.2.2.1.2 Aportaciones debidas a la iluminación.....	37
2.2.2.1.3 Aportaciones debidas a los equipos y procesos .....	38
2.2.2.2 Aportaciones externas .....	39
2.2.2.2.1 Transmisión.....	39
2.2.2.2.2 Cálculos de los coeficientes de transmisión superficiales..	40
2.2.2.2.3 Cálculo de los coeficientes de transmisión lineales .....	41
2.2.2.2.4 Cargas debidas a las infiltraciones de aire .....	42
2.2.2.2.5 Cargas debidas a la radiación solar.....	43
2.2.2.2.6 Cálculo de la superficie real del acristalamiento soleado ...	45
2.2.2.2.7 Aportaciones debidas al calor proveniente de la radiación solar sobre los muros.....	45
2.2.2.3 Parámetros requeridos para el cálculo de cargas térmicas.....	48
2.2.2.3.1 Temperatura exterior .....	48

2.2.2.3.2	Temperatura interior .....	48
2.2.2.3.3	Radiación solar.....	50
2.2.3	Balance de cargas térmicas .....	51
2.2.4	Diagrama del aire húmedo .....	51
2.2.4.1	Características físicas del aire .....	51
2.2.4.2	Lectura del diagrama del aire húmedo.....	51
2.2.4.3	Evoluciones .....	53
2.2.4.3.1	Sección de calentamiento.....	53
2.2.4.3.2	Sección de enfriamiento seco.....	54
2.2.4.3.3	Sección de enfriamiento húmedo .....	55
2.2.4.3.4	Sección de humectación de agua.....	56
2.2.4.3.5	Sección de humectación de inyección de vapor .....	57
2.2.4.3.6	Sección de Mezcla .....	57
<b>3</b>	<b>COMPONENTES DE INSTALACIONES FRIGORÍFICAS .....</b>	<b>59</b>
3.1	Emisores de climatización .....	59
3.1.1	Introducción.....	59
3.1.2	Sistemas autónomos y de expansión directa.....	59
3.1.2.1	Climatizadores individuales.....	59
3.1.2.1.1	Principio de funcionamiento.....	59
3.1.2.1.2	Tipologías de los climatizadores de locales.....	60
3.1.2.1.3	Componentes .....	63
3.1.2.1.4	La regulación de los climatizadores.....	64
3.1.2.1.5	Selección y ubicación del termostato de ambiente .....	65
3.1.2.2	Armarios de climatización .....	66
3.1.2.2.1	Principio de funcionamiento.....	66
3.1.2.2.2	Aspectos tecnológicos.....	68
3.1.2.2.3	Regulación .....	72
3.1.2.3	Sistemas de refrigerante variable (VRV) .....	73
3.1.2.3.1	Principio de funcionamiento.....	73
3.1.2.3.2	Tecnologías.....	75
3.1.3	Sistemas de aire.....	81
3.1.3.1	Sistema todo aire a caudal constante y un circuito de ductos .....	81
3.1.3.1.1	Principio de funcionamiento.....	81
3.1.3.1.2	Aplicaciones .....	83

3.1.3.1.3	Detalles tecnológicos de las UMAS .....	83
3.1.3.1.4	Sección de recuperación de energía .....	85
3.1.3.1.5	Tecnologías asociadas .....	85
3.1.3.1.6	Ventajas e inconvenientes .....	89
3.1.3.2	Sistema todo aire a caudal constante y un circuito doble de ductos... ..	90
3.1.3.2.1	Principio de funcionamiento.....	90
3.1.3.2.2	Detalles tecnológicos.....	90
3.1.3.2.3	Variantes tecnológicas: .....	91
3.1.3.2.4	Ventajas e inconvenientes.....	92
3.1.3.3	Sistema todo aire a caudal variable .....	92
3.1.3.3.1	Principio de funcionamiento.....	92
3.1.3.3.2	Aplicaciones .....	94
3.1.3.3.3	Diferentes tecnologías .....	94
3.1.3.3.4	Ventajas e inconvenientes.....	95
3.1.4	Sistemas de agua.....	96
3.1.4.1	Fan&coil.....	96
3.1.4.1.1	Principio de funcionamiento.....	96
3.1.4.1.2	Tipos de fan&coils .....	97
3.1.4.1.3	Detalles tecnológicos.....	98
3.1.4.1.4	Regulación de los fan&coils.....	98
3.1.4.2	Vigas frías.....	102
3.1.4.2.1	Principio de funcionamiento.....	102
3.1.4.2.2	Tecnologías.....	103
3.1.4.2.3	Regulación .....	104
3.2	Componentes de una instalación frigorífica.....	105
3.2.1	El compresor .....	105
3.2.1.1	Compresores a pistón.....	106
3.2.1.1.2	Compresor a pistón de construcción abierta.....	107
3.2.1.1.3	Compresor de construcción semihermético .....	107
3.2.1.1.4	Compresor de construcción hermético .....	108
3.2.1.2	Compresor scroll.....	108
3.2.1.3	Compresor rotativo .....	109
3.2.1.4	Compresor tornillo .....	110
3.2.1.5	Compresor centrífugo o turbocompresor.....	111

3.2.1.6	Condensadores y torres de refrigeración .....	112
3.2.1.6.1	Condensadores de agua .....	113
3.2.1.6.2	Condensadores de aire .....	115
3.2.1.7	Torres de refrigeración.....	116
3.2.1.7.1	Componentes de la torre de refrigeración.....	116
3.2.1.7.2	Tipologías de torres de refrigeración .....	119
3.2.2	Sistemas de expansión .....	122
3.2.2.1	Expansión capilar .....	122
3.2.2.2	Expansión termostática.....	123
3.2.2.3	Expansión termostática a equilibrado de presión externa .....	124
3.2.2.4	Expansión a mando electrónico .....	125
3.2.3	Regulación y protecciones del sistema de compresión.....	125
3.2.3.1	Ajustar la potencia entregada por el equipo en base a la demanda:	125
3.2.3.2	Limitar la presión máxima a la salida del compresor: .....	126
3.2.3.3	Limitar la presión mínima a la entrada del compresor: .....	126
3.2.3.4	Lubrificación del sistema.....	127
3.2.3.5	Evitar los golpes de líquido de refrigerante .....	127
<b>4</b>	<b>COMO REALIZAR EL LEVANTAMIENTO EN CAMPO .....</b>	<b>128</b>
4.1	Condiciones generales de funcionamiento .....	128
4.1.1	Características constructivas .....	128
4.1.2	Radiación solar.....	129
4.1.3	Condiciones de confort.....	129
4.1.4	Horarios de ocupación.....	130
4.1.5	Ubicación de los termostatos.....	130
4.1.6	Ubicación de las rejillas .....	131
4.2	Regulación de las instalaciones .....	132
4.2.1	Renovación de aire.....	132
4.2.2	Control de temperaturas y humedad .....	133
4.2.3	Horarios de funcionamiento.....	133
4.2.4	Sistemas de gestión .....	133
4.3	Características técnicas del sistema .....	134
4.3.1	Presencia de fugas.....	134
4.3.2	Aislamiento.....	134
4.3.3	Mantenimiento.....	135

4.3.4	Antigüedad .....	135
4.3.5	Gas refrigerante .....	135
4.3.6	Sobredimensionamiento.....	135
4.3.7	COP .....	136
4.4	Componentes del sistema de aire acondicionado .....	137
4.4.1	Compresor .....	137
4.4.2	Condensador.....	138
4.4.2.1	Aerorefrigeradores.....	138
4.4.2.2	Torre de enfriamiento.....	138
4.4.3	Evaporador.....	139
4.4.4	Regulación .....	139
4.5	Verificaciones del adecuado funcionamiento.....	139
4.5.1	Diferencia: temperatura de evaporación y temperatura de agua a la salida... 139	
4.5.2	Diferencia: temperatura de condensación y temperatura entrada de aire o agua .....	140
4.5.2.1	Condensador a aire .....	141
4.5.2.2	Condensador a agua .....	141
4.5.3	Medición de niveles .....	141
<b>5</b>	<b>FORMATO DE RECOPIACIÓN DE DATOS.....</b>	<b>143</b>
<b>6</b>	<b>MEJORAS ENERGÉTICAS.....</b>	<b>147</b>
6.1	Introducción.....	147
6.2	Limitar las necesidades.....	147
6.2.1	Protección solar.....	147
6.2.2	Disminuir las cargas térmicas internas .....	148
6.2.2.1	Aportaciones por los ocupantes .....	148
6.2.2.2	Aportaciones de los procesos y equipamientos .....	148
6.2.2.3	Disminuir las aportaciones de calor ligadas a la iluminación .....	148
6.2.2.3.2	Potencia instalada .....	149
6.2.2.3.3	Tipo de lámpara .....	149
6.2.2.3.4	Influencia de la inercia del local .....	151
6.2.2.3.5	Influencia del tipo de techo .....	151
6.2.3	Free cooling natural.....	151
6.2.3.1	Organizar el free cooling nocturno .....	151
6.3	Mejorar el funcionamiento de los emisores .....	152
6.3.1	Ubicación del termostato de ambiente.....	152

6.3.1.1	Ejemplo.....	152
6.3.2	Programación de las horas de funcionamiento .....	153
6.3.3	Regulación de la temperatura de consigna:.....	153
6.3.3.1	Consigna compensada en base de la temperatura exterior .....	153
6.3.3.2	Creación o aumento de la zona neutra .....	153
6.3.4	Disminución del consumo por calor latente .....	154
6.3.4.1	Ver la necesidad .....	154
6.3.4.2	¿Se puede evitar? .....	154
6.3.5	Integrar aire fresco en el sistema de climatización .....	155
6.3.5.1	El free-cooling mecánico:.....	155
6.3.5.2	Operar la ventilación higiénica en complemento de la climatización	156
6.3.6	Mantenimiento regular del equipo de climatización .....	156
6.3.7	Adaptar la temperatura de impulsión de agua .....	157
6.4	Producción de frío .....	157
6.4.1	Mejora del ciclo de frío .....	157
6.4.1.1	Mejora de la regulación de la potencia del compresor .....	157
6.4.1.2	Mejora del funcionamiento del condensador.....	158
6.4.1.2.1	Principio teórico.....	158
6.4.1.2.2	Reducir la temperatura del aire exterior.....	158
6.4.1.2.3	Evitar la recirculación del aire aspirado .....	158
6.4.1.2.4	Trabajar con un ventilador de velocidad variable o en cascada.....	159
6.4.1.2.5	Trabajar con una válvula de expansión electrónica .....	159
6.4.1.3	Instalar medidores en la instalación existente.....	159
6.4.1.3.1	Instalar un medidor horario.....	159
6.4.1.3.2	Medición del COP .....	160
6.4.2	Instalar un depósito de inercia.....	160
6.4.3	Recuperar el calor sobre el condensador de la máquina frigorífica.....	160
6.4.3.1	Principio de funcionamiento.....	160
6.4.3.2	Recuperación de la energía.....	161
6.4.3.2.1	Aplicación sobre una instalación de fan-coils de 4 tubos .	162
6.4.3.2.2	Aplicación de pre calentamiento del agua caliente sanitaria.....	163
6.4.3.2.3	Esquema tipo: .....	163
6.4.4	Free chilling.....	164

6.4.4.1	Principios de base .....	164
6.4.4.2	Tipos de instalaciones que se adaptan a este sistema .....	164
6.4.4.2.1	Problemas de hielo.....	165
6.4.4.3	Esquemas.....	165
6.4.4.3.1	A través de un Aero de aire específico .....	165
6.4.4.3.2	A través un aparato mixto.....	167
6.4.4.3.3	A través de torre cerrada de la instalación.....	167
6.4.4.3.4	A través de torre abierta de la instalación.....	168
6.4.4.3.5	A través de un intercambiador de aire ubicada delante de las apertura de aspiración de la torre.....	168
6.4.4.3.6	A través de un intercambiador de placas.....	168
6.4.6	Almacenamiento de agua helada .....	169
6.4.6.1	Tecnologías disponibles .....	169
6.4.6.1.1	Depósitos de agua helada muy fría .....	169
6.4.6.1.2	Depósito de hielo.....	169
6.4.6.2	Esquemas de funcionamiento.....	170
6.4.6.2.1	Depósitos de agua helada .....	170
6.4.6.2.2	Depósitos de hielo.....	172
6.4.6.3	Ventajas e inconvenientes .....	176
6.4.6.3.1	Ventajas .....	176
6.4.6.3.2	Inconvenientes .....	176
6.4.6.4	Procedimiento.....	177
6.4.6.5	Comprobar el volumen.....	178
6.4.6.6	Establecer el perfil de carga.....	178
6.4.6.7	Selección del grupo de frío .....	178
6.4.6.8	Reparto de las cargas frigoríficas.....	179
6.4.6.8.1	Acumulación completa .....	179
6.4.6.9	Dimensionamiento del depósito de almacenamiento .....	179
6.4.6.10	Esquemas típicos de instalaciones .....	180
6.4.6.11	Evaluación de la rentabilidad .....	181
6.4.7	Mantenimiento.....	182
6.4.7.1	Signos de sobreconsumos.....	182
6.4.7.2	Evaluación del estado.....	182
6.4.7.3	Ahorros por operación y mantenimiento.....	183
<b>7</b>	<b>EJEMPLOS .....</b>	<b>184</b>

7.1 Free cooling .....	184
7.2 Ventilación mecánica .....	184
7.2.1 Sistema 1 .....	184
7.2.2 Sistema 2 .....	185
7.3 Temperatura de consigna.....	186
7.4 Almacenamiento de frío .....	187
7.5 Free chilling.....	188
7.6 Reducir iluminación .....	191
<b>Bibliografía .....</b>	<b>192</b>
<b>ANEXO 1: Conversión de Unidades.....</b>	<b>193</b>
<b>ANEXO 2: Ganancia de calor por ocupación .....</b>	<b>195</b>
<b>ANEXO 3: Valores de iluminación por espacios .....</b>	<b>196</b>
<b>ANEXO 4: Ventilación mínima recomendada .....</b>	<b>197</b>
<b>ANEXO 5: Temperaturas exteriores de diseño.....</b>	<b>199</b>
<b>ANEXO 6: Temperaturas interiores recomendadas .....</b>	<b>204</b>

## Lista de Tablas

Tabla 1 Puntos ciclo frigorífico.....	28
Tabla 2 Clasificación equipo de aire acondicionado EER .....	34
Tabla 3 Valores COP según EEEC Modo enfriamiento .....	34
Tabla 4 Valores COP según EEEC Modo calor .....	35
Tabla 5 Tipo de aportación térmica debido a la Iluminación .....	37
Tabla 6 Resistencia superficial exterior e interior.....	41
Tabla 7 Valores de los factores de absorción de materiales .....	46
Tabla 8 Valor de referencia del COP .....	136
Tabla 9 Tipo de emisión lámparas.....	150
Tabla 10 Tabla datos ejemplo Ventilación mecánica .....	184
Tabla 11 Tabla datos ejemplo Iluminación.....	191
Tabla 12 Ganancia de calor latente y sensible ocupación según actividad y temperatura interior.....	195
Tabla 13 Densidad de iluminación por espacios interiores .....	196
Tabla 14 Valores de ventilación mínima por local.....	197
Tabla 15 Temperaturas recomendadas por espacios interiores .....	204

## Lista de Ilustraciones

Figura 1 Diagrama de Molieré .....	24
Figura 2 Esquema compresor .....	25
Figura 3 Diagrama de Molieré compresión .....	25
Figura 4 Esquema condensador.....	26
Figura 5 Diagrama de Molieré ciclo condensación .....	26
Figura 6 Esquema expansión .....	26
Figura 7 Diagrama de Molieré ciclo expansión .....	26
Figura 8 Esquema evaporador .....	27
Figura 9 Diagrama de Molieré ciclo evaporación .....	27
Figura 10 Diagrama de Molieré ciclo frío completo.....	28
Figura 11 Esquema completo circuito de frío.....	28
Figura 12 Comparativo ciclo compresión vs. Absorción.....	29
Figura 13 Circuito de enfriamiento por absorción .....	30
Figura 14 Diagrama de Molieré Potencia frigorífica .....	32

Figura 15 Diagrama de Molier ciclo de frío plena carga.....	33
Figura 16 Diagrama de Molier ciclo de frío carga parcial.....	33
Figura 17 Esquema de las transmisiones de calor en cerramientos.....	40
Figura 18 Esquema de las transmisiones de calor lineal en cerramientos.....	41
Figura 19 Esquema de transferencia de calor en acristalamientos.....	43
Figura 20 Reparto de los ángulos de incidencia acristalamientos.....	43
Figura 21 Radiación solar sobre muros opacos.....	46
Figura 22 Evolución de las condiciones interiores en función de la permanencia.....	49
Figura 23 Radiación solar México.....	50
Figura 24 Diagrama del aire húmedo ejes.....	52
Figura 25 Representación de temperaturas húmeda, seca y rocío en diagrama.....	53
Figura 26 Evolución sección de calor diagrama aire húmedo.....	54
Figura 27 Evolución sección de frío seca diagrama aire húmedo.....	55
Figura 28 Evolución sección de frío húmedo diagrama aire húmedo.....	56
Figura 29 Evolución sección de humectación de agua diagrama aire húmedo.....	56
Figura 30 Evolución sección de humectación de vapor diagrama aire húmedo.....	57
Figura 31 Evolución sección de mezcla diagrama aire húmedo.....	58
Figura 32 Equipo de ventana marca CARRIER modelo CA.....	61
Figura 33 Esquema componentes split system.....	61
Figura 34 Sistema multi-split marca LG.....	62
Figura 35 Equipo rooftop marca CARRIER modelo 50/48UA-UH.....	63
Figura 36 Armario de climatización marca CAITESA modelo Magister 2.....	66
Figura 37 Armario de climatización marca LIEBERT modelo Intelecool 2.....	66
Figura 38 Ejemplo de esquema de funcionamiento armario de climatización.....	67
Figura 39 Esquema típico de armario de climatización con impulsión de aire por falso suelo.....	68
Figura 40 Esquema de armario de climatización con condensador de aire separado.....	69
Figura 41 Esquema de armario de climatización con condensador de agua (aero).....	70
Figura 42 Aerorefrigerado marca TEVA modelo ADA.....	70
Figura 43 Esquema de armario de climatización con torre de enfriamiento abierta.....	71
Figura 44 Torre abierta marca TEVA modelo TVAP.....	71
Figura 45 Torre cerrada marca TEVA modelo RMA.....	72
Figura 46 Esquema de un sistema VRV solo frío.....	73
Figura 47 Esquema de un sistema VRV simultáneo (frío y calor).....	74
Figura 48 Unidad condensadora VRV Daikin.....	75

Figura 49 Unidades condensadoras VRV marca Toshiba .....	75
Figura 50 Accesorios cobre líneas VRV .....	76
Figura 51 Tubería a dos tubos.....	76
Figura 52 Tubería a tres tubos .....	76
Figura 53 Gamas de equipos interiores VRV.....	77
Figura 54 Caja de reparto 3 tubos .....	77
Figura 55 Colector repartidor VRV .....	77
Figura 56 Esquema sistema VRV regulación solo frío.....	79
Figura 57 Esquema sistema VRV regulación simultánea mayoría frío.....	79
Figura 58 Esquema sistema VRV regulación simultánea equilibrada .....	80
Figura 59 Esquema sistema VRV regulación simultánea mayoría calor .....	80
Figura 60 Esquema sistema VRV regulación solo calor .....	81
Figura 61 Manejadora de aire TECNIVEL modelo ortopac .....	82
Figura 62 Esquema aire con baterías terminales de apoyo .....	86
Figura 63 Esquema aire con unidades terminales de apoyo .....	87
Figura 64 Esquema aire con recirculación parcial de aire.....	88
Figura 65 Esquema aire con recuperación de energía .....	88
Figura 66 Esquema UMA todo aire a caudal constante y doble circuito de ductos .....	90
Figura 67 Esquema UMA todo aire a caudal constante y doble circuito de ductos recirculación parcial .....	91
Figura 68 Esquema UMA todo aire a caudal constante y doble circuito de ductos recuperación de energía .....	92
Figura 69 Esquema todo aire a caudal variable.....	93
Figura 70 Esquema todo aire a caudal variable con by pass .....	94
Figura 71 Esquema todo aire a caudal variable con by pass y unidades terminales.....	95
Figura 72 Fan&coil de suelo marca CARRIER modelo 42V con carenado .....	96
Figura 73 Fan&coil de suelo marca CARRIER modelo 42V sin carenado .....	96
Figura 74 Fan&coil cuatro vías Carrier 42GW .....	97
Figura 75 Fan&coil de suelo CARRIER 42N.....	97
Figura 76 Fan&coil de falso techo CARRIER 42DW.....	97
Figura 77 Fan&coil de conductos CARRIER 42VP.....	97
Figura 78 Fan&coil de pared CARRIER 42WH.....	97
Figura 79 Esquema instalación fan&coils a dos tubos .....	100
Figura 80 Esquema instalación fan&coils a cuatro tubos.....	101
Figura 81 Esquema instalación fan&coils a dos tubos y dos hilos .....	102

Figura 82 Esquema viga fría activa .....	103
Figura 83 Viga Fría France Air modelo HQE .....	103
Figura 84 Esquema viga fría pasiva .....	103
Figura 85 Viga fría pasiva HALTON modelo CPT .....	103
Figura 86 Viga fría con toma de aire por rejilla .....	104
Figura 87 Viga fría por lamas separadas de falso techo .....	104
Figura 88 Viga fría en falso techo entre alumbrado .....	104
Figura 89 Esquema de regulación de la viga fría .....	104
Figura 90 Compresor a pistón .....	106
Figura 91 Compresor scroll .....	106
Figura 92 Compresor de tornillo .....	106
Figura 93 Compresor centrífugo .....	106
Figura 94 Corte de un compresor a pistón .....	107
Figura 95 Compresor semihermético .....	107
Figura 96 Compresores a pistón herméticos .....	108
Figura 97 Compresor Scroll .....	109
Figura 98 Compresor tornillo .....	110
Figura 99 Compresor tornillo 2 .....	111
Figura 100 Compresor centrífugo .....	111
Figura 101 Diagrama de intercambio condensador .....	112
Figura 102 Condensadores de agua .....	113
Figura 103 Esquema condensador de botella .....	114
Figura 104 Condensador marca CARLY modelo Condor V .....	114
Figura 105 Esquema condensador multi tubular .....	114
Figura 106 Condensador multitubular Marca CIATESA .....	114
Figura 107 Esquema condensador de placas .....	115
Figura 108 Condensador de placas THERMOFIN .....	115
Figura 109 Separador de gotas de paso sencillo .....	117
Figura 110 Separador de gotas de paso doble .....	117
Figura 111 Separador de gotas triple unido .....	117
Figura 112 Separador de gotas triple solapados .....	117
Figura 113 Separador de gotas ondulado .....	117
Figura 114 Rociador a tubería compresión .....	118
Figura 115 Rociador rotativo a presión .....	118

Figura 116 Rociador por gravedad .....	118
Figura 117 Esquema torre abierta de tiro inducido .....	120
Figura 118 Torre de refrigeración TEVA modelo TVAE .....	120
Figura 119 Torre abierta de tiro forzado .....	121
Figura 120 Torre de refrigeración TEVA modelo TVC .....	121
Figura 121 Esquema torre abierta de flujo cruzado de tiro forzado.....	121
Figura 122 Torre de refrigeración BAC modelo FXT.....	121
Figura 123 Esquema de torre abierta de flujo cruzado y tiro inducido.....	122
Figura 124 Torre de refrigeración BAC modelo S3000E.....	122
Figura 125 Esquema de expansión laminar.....	123
Figura 126 Foto de expansión capilar CHAVE CATRACA.....	123
Figura 127 Esquema de expansión termostática .....	124
Figura 128 Expansión termostática DANFOSS TEX2N.....	124
Figura 129 Esquema de expansión a equilibrado de presión .....	124
Figura 130 Expansión termostática a equilibrado de presión DANFOSS.....	124
Figura 131 Expansión electrónica EMERSON CX2.....	125
Figura 132 Presostato HP compresor.....	126
Figura 133 Presostato HP y BP compresor .....	126
Figura 134 Control válvula de expansión.....	127
Figura 135 Ventilador de apoyo.....	130
Figura 136 Ubicación de termostato .....	130
Figura 137 Ubicación de rejillas de impulsión.....	131
Figura 138 Ineficiencia en la impulsión del aire frío .....	132
Figura 139 Aprovechamiento térmico del aire rechazado .....	133
Figura 140 Aislamiento de ducto de aire .....	134
Figura 141 Aislamiento de tubería de agua helada.....	134
Figura 142 Ubicación de condensador .....	138
Figura 143 Correspondencia temperatura y presión de evaporación.....	140
Figura 144 Correspondencia temperatura y presión de condensación .....	141
Figura 145 Mirilla Indicadora de Líquido.....	142
Figura 146 Indicador de Humedad .....	142
Figura 147 Ventilación natural individual de cada local .....	151
Figura 148 Ventilación natural transversal.....	151
Figura 149 Equipo de climatización con ventilación integrada tipo Rooftop.....	155

Figura 150 Gráfica de intercambio en el condensador.....	161
Figura 151 Precalentamiento de agua caliente sanitaria .....	163
Figura 152 Sistema recuperación torre.....	164
Figura 153 free chilling montaje en serie aero .....	166
Figura 154 free chilling montaje en paralelo aero .....	167
Figura 155 free chilling a través de torre cerrada.....	168
Figura 156 Esfera de hielo .....	170
Figura 157 Esfera de hielo en fase de carga .....	170
Figura 158 Esfera de hielo en fase de descarga .....	170
Figura 159 Depósito de agua helada en retorno.....	170
Figura 160 Depósito de agua helada en impulsión .....	171
Figura 161 Depósito de agua helada en paralelo .....	171
Figura 162 Esquema conexión banco de hielo de tubos modo carga .....	172
Figura 163 Esquema conexión banco de hielo de tubos modo carga y producción .....	172
Figura 164 Esquema conexión banco de hielo de tubos modo descarga .....	173
Figura 165 Esquema conexión banco de hielo de esferas modo carga .....	173
Figura 166 Esquema conexión banco de hielo de tubos modo carga y producción .....	174
Figura 167 Esquema conexión banco de hielo de tubos modo descarga y producción .....	175
Figura 168 Esquema conexión banco de hielo de tubos modo descarga .....	175
Figura 169 Evolución de la potencia frigorífica en base a la temperatura de salida del evaporador.....	177
Figura 170 Almacenamiento completo con la carga de frío durante la noche .....	177
Figura 171 Almacenamiento parcial para limitar las puntas de frío .....	177
Figura 172 Almacenamiento parcial para hacer frente a picos de potencia eléctrica .....	177
Figura 175: Esquema ilustrativo 1 Ejemplo ahorro ventilación.....	185
Figura 176 Esquema ilustrativo 2 Ejemplo ahorro ventilación.....	186
Figura 177 Esquema ilustrativo 1 Ejemplo Free chilling.....	189
Figura 178 Esquema ilustrativo 2 Ejemplo Free chilling.....	189
Figura 179 Diagrama ilustrativo Ejemplo Free chilling .....	190

## Lista de Ecuaciones

Ecuación 1 COP (explicación) .....	32
Ecuación 2 COP .....	32
Ecuación 3 EER (explicación) .....	33
Ecuación 4 EER .....	33
Ecuación 5 Potencia sensible .....	37
Ecuación 6 Potencia latente .....	37
Ecuación 7 Potencia Total .....	37
Ecuación 8 Aportación térmica debido a iluminación .....	38
Ecuación 9 Aportaciones debido a procesos y equipos .....	38
Ecuación 10 Aportaciones debido a transmisión .....	39
Ecuación 11 Coeficiente de transmisión .....	40
Ecuación 12 Resistencia térmica global .....	40
Ecuación 13 Resistencia térmica .....	40
Ecuación 14 Aportaciones por calor sensible .....	42
Ecuación 15 Aportaciones en humedad .....	42
Ecuación 16 Aportaciones totales .....	43
Ecuación 17 Flujo solar .....	44
Ecuación 18 Aportaciones por flujo solar .....	44
Ecuación 19 Factor solar .....	44
Ecuación 20 Superficie de acristalamiento asoleado .....	45
Ecuación 21 Superficie de acristalamiento en la sombra .....	45
Ecuación 22 Superficie de acristalamiento asoleado 1 .....	45
Ecuación 23 Temperatura exterior equivalente .....	46
Ecuación 24 Flujo de transmisión .....	47
Ecuación 25 Permanencia larga .....	48
Ecuación 26 Permanencia media .....	48
Ecuación 27 Permanencia corta .....	49
Ecuación 28 Potencia de la batería .....	54
Ecuación 29 Ciclo frigorífico .....	183

### **Listado de Abreviaturas**

ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers
CFC	Clorofluorocarbono
HCFC	Hidroclorofluorocarbono
HFC	Hidrofluorocarbono
K	Grados Kelvin
°C	Grados Celsius
HP	Horse Power
rpm	Revoluciones por minuto

## Resumen Ejecutivo

### 1. Antecedentes:

En el marco del Proyecto de Desarrollo de Capacidades para el Fortalecimiento del Sector Privado para la Mitigación del Cambio Climático, diversas actividades se desarrollaron durante 2012 y 2013, a fin de formar consultores en eficiencia energética para brindar estos servicios al sector PyME. Como resultado de esta etapa de formación, COMPITE como organización que conduce estas actividades en México, ha desarrollado un nuevo producto de asistencia a las PyMEs basado en un Taller de Eficiencia Energética (TEE) que tiene como objetivo reducir los costos de la operación y de la energía al eficientar el uso de la misma, a través de mejores métodos de proceso y de trabajo.

Para apoyar este nuevo producto en el mercado, se llevaron a cabo experiencias piloto de implementación. Con base en la retroalimentación obtenida de esta primera fase de prueba, se prevé reforzar la capacitación brindada a los consultores de COMPITE a través de tutoriales. El presente material podrá ser utilizado por los consultores de COMPITE para fortalecer la metodología del Taller de Eficiencia Energética.

### 2. Objetivo y alcance:

Este tutorial sirve de herramienta para los consultores de COMPITE en el desarrollo de los Talleres de Eficiencia Energética, en particular para todo lo relacionado con los sistemas de aire acondicionado.

### 3. Metodología:

Para elaborar el presente documento, se realizó en primera instancia una reunión con los consultores de COMPITE, con el objetivo de entender el contexto de ejecución de los Talleres de Eficiencia Energética, sus conocimientos en relación a la temática desarrollada y sobre todo sus expectativas en cuanto al contenido del tutorial. Posteriormente, se desarrollaron la guía del contenido y el índice del documento, tomando en cuenta el material existente así como las peticiones de los consultores de COMPITE. Finalmente, se investigó, en diferentes fuentes de información electrónica e impresa, los contenidos faltantes por desarrollar.

### 4. Estructura del documento:

Este documento se divide en una primera parte teórica sobre los sistemas de aire acondicionado, abordando en primer lugar los ciclos termodinámicos, la explicación de los balances de cargas, el diagrama del aire húmedo. La segunda parte describe las diferentes tecnologías existentes para la climatización de áreas y los componentes de cada instalación. En el cuarto capítulo, los consultores podrán encontrar los datos que deben obtener o registrar para

hacer el análisis energético correspondiente. El quinto capítulo contiene el formato de recopilación de datos desarrollado en función de las recomendaciones indicadas en el capítulo anterior. Finalmente, se presentan las mejoras energéticas que se pueden identificar en las instalaciones de aire acondicionado y la estimación de los ahorros asociados.

#### 5. Resultados clave:

Con este tutorial, los consultores de COMPITE tienen una herramienta muy completa que les permite entender cómo funciona teóricamente la climatización (diagrama de Mollier, diagrama del aire húmedo) así como conocer y diferenciar todos los tipos de tecnologías de aire acondicionado del punto de vista de sus componentes, funcionamiento y regulación. Con este conocimiento y la guía de mejoras energéticas presentada, podrán identificar, analizar y calcular las oportunidades de ahorros relacionados con los sistemas de aire acondicionado de un inmueble.

#### 6. Conclusiones:

Esta herramienta refuerza los conocimientos de los consultores de COMPITE y les permite ser mejor preparados para llevar a cabo los Talleres de Eficiencia Energética en PyME, al entender la teoría detrás de cada tecnología y al identificar rápidamente las principales mejoras energéticas relacionadas con los sistemas de aire acondicionado.



## 1 OBJETIVOS

Esta guía está dirigida a los consultores de COMPITE que realizan Talleres de Eficiencia Energética en Pequeñas y Medianas Empresas (PyMEs), de 1 a 100 empleados.

Los sistemas de aire acondicionado se encuentran en todo tipo de inmuebles: industrias, establecimientos comerciales, hoteles, etc. En los climas cálidos, se utilizan durante todo el año para climatizar las áreas importantes. En ese sentido, su función principal es la de mejorar las condiciones laborales de los ocupantes y por consecuencia el desempeño y productividad de los trabajadores. En los edificios comerciales, el objetivo es mantener un nivel de confort interno agradable para los clientes.

Los objetivos son los siguientes:

1. Conocer la teoría de los sistemas de aire acondicionado como son los principios de funcionamiento termodinámicos, las diferentes tecnologías, los componentes, los principios de regulación, etc.
2. Saber realizar un levantamiento en campo de los datos relevantes de las instalaciones de aire acondicionado.
3. Identificar las oportunidades de ahorro de energía y calcular los ahorros de energía correspondientes.

## 2 BASES TEÓRICAS

### 2.1 Introducción

Cuando hacemos referencia al término “producir frío” no es del todo exacto y quizás sea utilizado inadecuadamente, ya que se trata de transferir energía calorífica de una fuente de frío hacia una fuente caliente. Para ello, se requiere de un aporte de energía externo ya que este fenómeno no se realiza de forma natural y espontáneo tal y como lo mencionaba Clausius en uno de sus enunciados del segundo principio de la termodinámica.

El presente artículo pretende dar una visión general de las máquinas frigoríficas de compresión tanto a nivel de funcionamiento como de eficacia.

### 2.2 Bases teóricas

Para poder entender con detalle las instalaciones de aire acondicionado, debemos disponer de dos visiones teóricas que son:

- Visión desde el punto de vista del equipo de aire acondicionado
- Visión desde el punto de vista exterior al equipo – necesidades térmicas del local

#### 2.2.1 Visión desde el punto de vista interior:

El principio fundamental, expresado en lenguaje común, es que “no se hace frío, se retira calor”. Así, para transportar calor de un cuerpo a baja temperatura a otro de alta temperatura (en nuestro contexto, para enfriar), es necesario aportar energía.

Para eso, interviene un fluido refrigerante que pasa por una serie de transformaciones termodinámicas. Este ciclo termodinámico evita las reposiciones continuas del gas refrigerante. Cada refrigerante tiene un comportamiento definido y diferente (ver sección 3. Refrigerantes).

Para la producción de frío con aplicaciones industriales, encontramos dos sistemas:

- El ciclo frigorífico de compresión (ejemplo: los chillers eléctricos)
- El ciclo frigorífico de absorción (ejemplo: los chillers de absorción)

### 2.2.1.1 Ciclo de compresión

Para entender el ciclo frigorífico es necesario comprender cada uno de los componentes y su funcionamiento. Existen 4 principales equipos:

- Compresor
- Condensador
- Expansión
- Evaporador

Según la etapa donde se situé el fluido refrigerante, dispondremos de unas condiciones particulares tanto de presión como de temperatura y de estado del fluido. El cambio de estado y de presión son las claves indispensables para llevar a cabo la transferencia del calor de una fuente fría a una fuente caliente.

#### 2.2.1.1.1 Nociones de diagrama entálpico

El diagrama entálpico o diagrama de Molier es uno de los elementos indispensables para el entendimiento de un ciclo de frío. Cada refrigerante dispone de un diagrama específico permitiendo establecer su estado físico en base a su presión.

El eje de las X muestra la entalpia del fluido (h), correspondiente a la cantidad de energía contenida en un kilogramo de refrigerante. El eje Y corresponde a la presión del fluido (P). La campana establece el estado del fluido, donde fuera de esa curva el refrigerante se encuentra en estado saturado y no puede cambiar de estado. El resto de las curvas muestran diferentes parámetros de las cuales resaltamos la temperatura (isotérmica) y el volumen (isócoro).

Figura 1 Diagrama de Molier

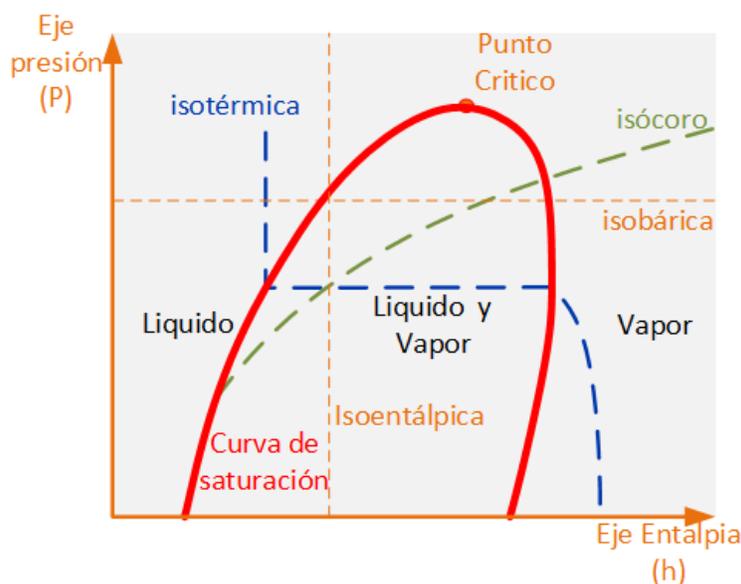
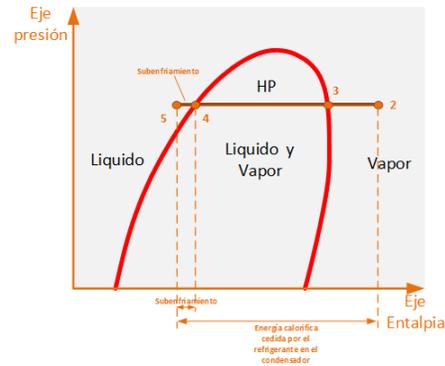




Figura 4 Esquema condensador



Figura 5 Diagrama de Mollier ciclo condensación



El fluido refrigerante es sub-enfriado con objeto de garantizar que el cambio completo de vapor a líquido. Este subenfriamiento suele situarse entre 4 y 7°C. A diferencia del sobrecalentamiento, no se requiere de una vigilancia particular ya que no representa ningún tipo de amenaza para los componentes del circuito frigorífico.

El fluido caloportador puede ser:

- Aire
- Agua (geotermia, torres...)

### 2.2.1.1.2.3 Expansión:

El fluido refrigerante en estado líquido y alta presión es expandido con el fin de reducir esa presión hasta la baja presión. Esta disminución de presión resulta indispensable para lograr obtener un fluido refrigerante en condiciones favorables para captar la energía calorífica en el evaporador.

Figura 6 Esquema expansión

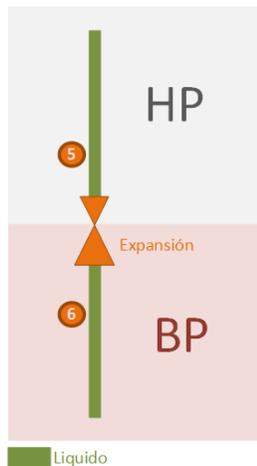


Figura 7 Diagrama de Mollier ciclo expansión



#### 2.2.1.1.2.4 Evaporación:

El fluido en un estado líquido y vapor se introduce en un intercambiador (evaporador) donde será cargado de energía calorífica del fluido (agua o aire) que se desea enfriar (fuente fría). Este calentamiento del refrigerante provoca su evaporación pasando del estado líquido con vapor a un estado gaseoso de baja presión.

Figura 8 Esquema evaporador

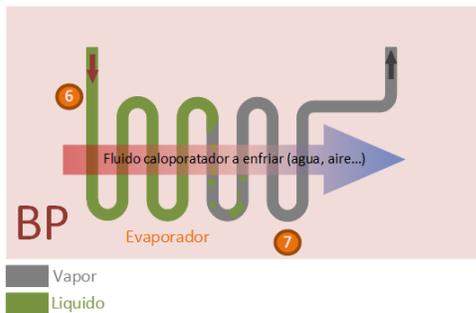
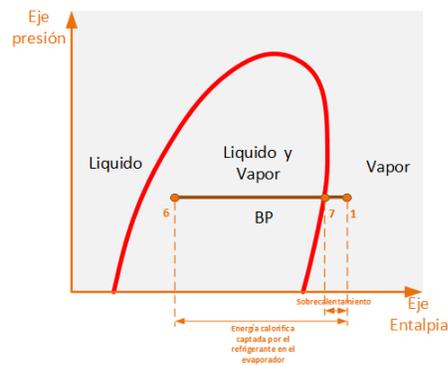


Figura 9 Diagrama de Mollier ciclo evaporación



Se debe provocar un sobrecalentamiento en la salida del evaporador con el fin de garantizar que el refrigerante este totalmente en estado gaseoso para proteger el compresor de posibles golpes de líquido. Esta temperatura de sobrecalentamiento es controlada para evitar posibles influencias negativas sobre la tasa de compresión y por lo tanto sobre el rendimiento del compresor. Por lo tanto, se controla el sobrecalentamiento a través de la válvula de expansión que en base a la temperatura de sobrecalentamiento variara el paso de fluido refrigerante. En el caso que aumente la temperatura, la válvula de expansión abrirá más el paso, obteniendo un mayor caudal de refrigerante y de esa forma una disminución de la temperatura de sobrecalentamiento.

El fluido caloportador en el evaporador puede ser:

- Aire (directo del ambiente, UMAS de expansión directa...)
- Agua (fan&coils, UMAS...)

#### 2.2.1.1.2.5 Ciclo completo

A continuación se representa el diagrama completo de funcionamiento de un equipo frigorífico.

Figura 10 Diagrama de Moliere ciclo frío completo

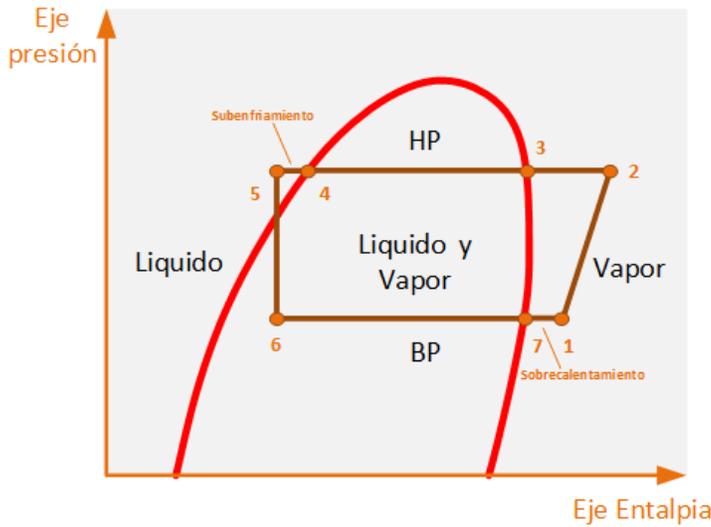


Figura 11 Esquema completo circuito de frío

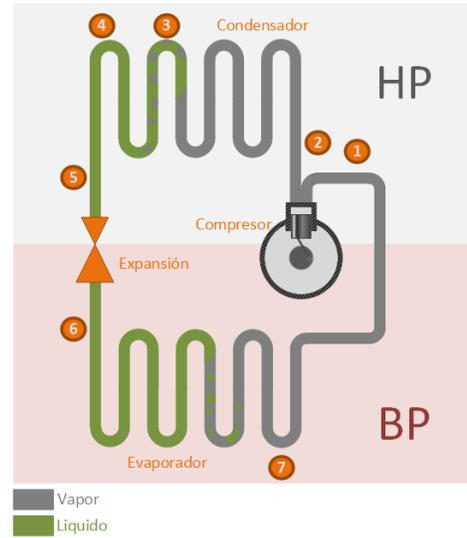


Tabla 1 Puntos ciclo frigorífico

Puntos	Nivel de presión	Estado del refrigerante	Nivel de temperatura
Compresión (1 – 2)	Paso a alta presión (HP)	Gaseoso	Elevada
Circuito compresor a condensador (2 – 3)	Alta presión (HP)	Gaseoso	Elevada
Condensador (3- 4)	Alta presión (HP)	Paso al estado liquido	Paso a baja temperatura
Circuito condensador a válvula de expansión (4-5)	Alta presión (HP)	Liquido	Baja
Válvula de expansión (5-6)	Paso a baja presión	Liquido + Vapor	Baja
Circuito expansión a evaporador (6-7)	Baja presión (BP)	Liquido + Vapor	Baja
Circuito evaporador a compresor (7-1)	Baja presión (BP)	Paso al estado gaseoso (liquido + vapor)	Baja

### 2.2.1.3 Ciclo de absorción

#### 2.2.1.3.1 Descripción de la absorción

Aunque la máquina de absorción parece diferente de una máquina tradicional, el principio de funcionamiento es similar:

- Circulación de un fluido refrigerante
- Evaporación del fluido con producción de agua helada
- Compresión del fluido solicitando una aportación de energía
- Condensación del fluido con producción de calor

Las diferencias residen básicamente en la forma de comprimir el refrigerante que en la máquina tradicional utiliza una compresión mecánica y en la absorción se utiliza una compresión termoquímica. La energía requerida para la compresión mecánica es electricidad y para la compresión termoquímica es calor.

Figura 12 Comparativo ciclo compresión vs. Absorción

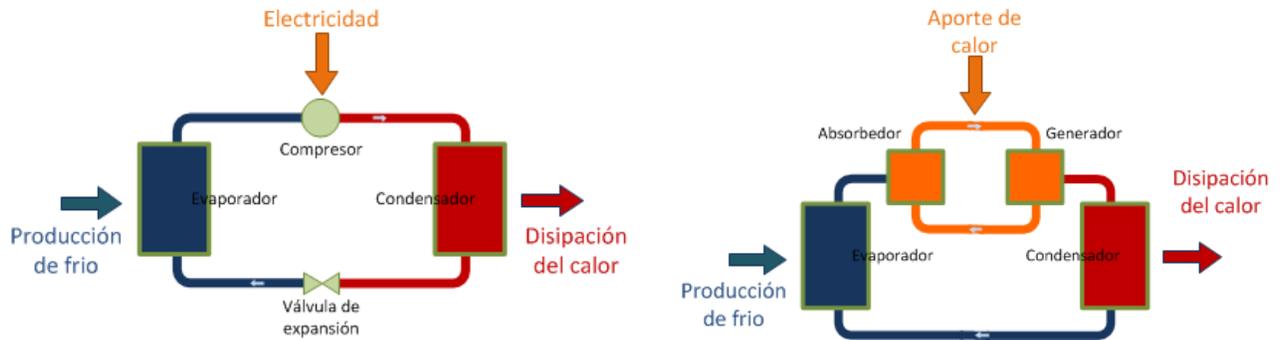
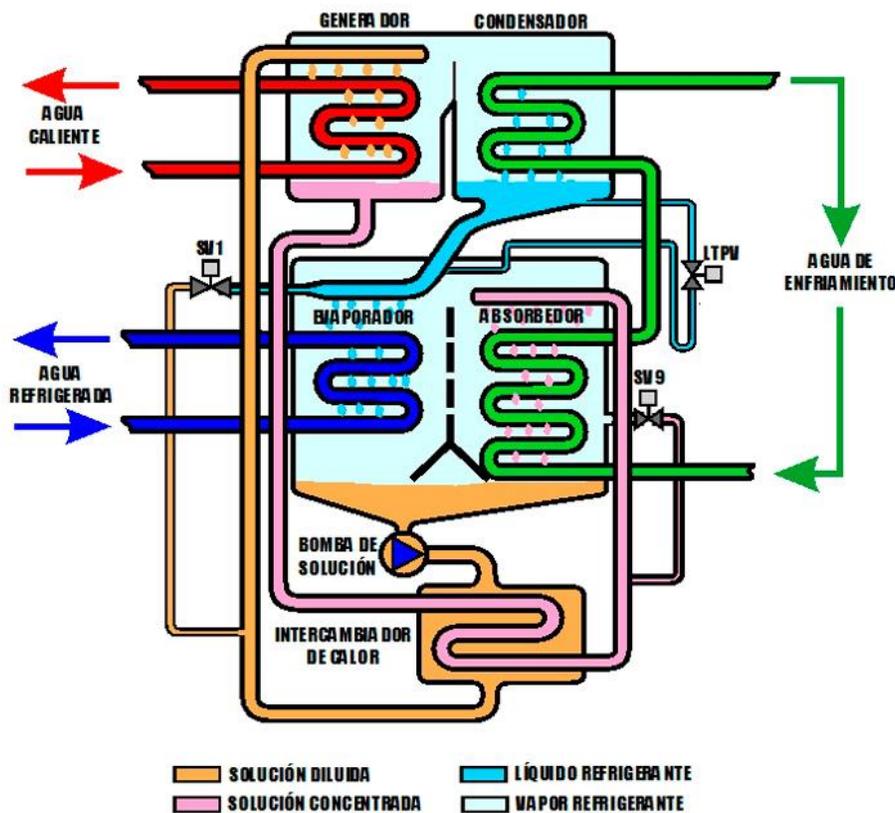


Figura 13 Circuito de enfriamiento por absorción



Fuente: [www.absorsistem.com](http://www.absorsistem.com)

A continuación, se describe el ciclo de manera más detallada

En el generador, mediante el aporte de energía térmica (puede ser por intercambio de calor con agua calentada por medio de una caldera) se produce la evaporación de parte del refrigerante de la solución de refrigerante-absorbedor, concentrándose dicha solución. El vapor del refrigerante se dirige al condensador, mientras que la solución concentrada se dirige al absorbedor. Dado que el absorbente no es muy volátil, en condiciones normales de funcionamiento, no debe producirse el arrastre de gotas de solución en el proceso de evaporación, o si se produce será en cantidades inapreciables.

En el condensador, como para las máquinas de compresión, el gas refrigerante cede su calor latente y se condensa. Normalmente la condensación del refrigerante se realiza mediante un circuito de agua que se enfría a su vez por medio de una torre de enfriamiento. La presión de trabajo del condensador varía mucho en función del refrigerante que se esté empleando. Si estamos empleando agua, estaremos trabajando por debajo de la presión atmosférica, pero si estamos empleando amoníaco la presión será muy superior a la atmosférica.

La válvula de expansión: como en el ciclo de compresión, el refrigerante pasa por la válvula de expansión para reducir su presión antes de entrar al evaporador. En el caso del agua como

refrigerante, la diferencia de presiones para las temperaturas típicas de funcionamiento de una máquina de absorción es pequeña, por lo que con un dispositivo que produzca una pequeña pérdida de carga (como una trampa de líquido) es suficiente. Sin embargo, si el refrigerante es amoníaco, la diferencia de presiones es muy alta, por lo que si es necesario emplear una válvula de expansión para producir la pérdida de carga necesaria.

En el evaporador: a baja presión, el refrigerante llega al evaporador. El refrigerante se evapora tomando la energía necesaria de otro circuito (normalmente agua), produciéndose el efecto frigorífico. Es importante indicar la necesidad de que no se produzca arrastre de absorbente, ya que modificaría la presión de trabajo en el evaporador. En cuanto a las presiones de trabajo, en caso de trabajar con vapor de agua como refrigerante, seguiremos trabajando por debajo de la presión atmosférica, un poco más aún, mientras que si empleamos amoníaco seguiremos trabajando por encima de la presión atmosférica, aunque no tanto como en el condensador.

En el absorbedor: Una vez abandonado el evaporador, el refrigerante se dirige hacia el absorbedor para cerrar el ciclo. Para ello se ponen en contacto el refrigerante y la solución concentrada que proviene del generador. La solución concentrada absorbe el refrigerante diluyéndose la solución, volviendo a las condiciones de partida. Dicho proceso de mezcla es exotérmico, por lo que es necesario evacuar el calor generado para que dicho calor no eleve la temperatura del absorbedor y se ralentice el proceso de mezcla. Para ello se emplea un circuito auxiliar de agua que evacua dicha energía y posteriormente la disipa en la torre de refrigeración. Normalmente, con el mismo circuito de agua, se enfría el absorbedor y el condensador, primero pasa por el absorbedor, y luego pasa por el condensador.

Una vez se ha producido la mezcla, la bomba se encarga de elevar la presión de la solución hasta la presión de trabajo. Existe una pérdida de carga en el paso del condensador al evaporador. Impulsa la mezcla hacia el generador.

En el intercambiador: Por último, antes de llegar al generador, la solución pasa por un intercambiador de calor donde entra en contacto con la solución concentrada que proviene del generador y se dirige al absorbedor, disminuyendo la temperatura de ésta, y aumentando la suya. Con esto se consigue disminuir las necesidades de refrigeración del absorbedor y también el aporte energético necesario a realizar en el generador (ya que la solución de partida ingresa en el generador a mayor temperatura).

Las máquinas de absorción son de gran tamaño (mayor que las de compresión) e incorporan torre de refrigeración.

Existen máquinas de simple efecto, funcionando con temperaturas al nivel del generador de 70-90°C y máquinas de doble efecto con temperaturas al nivel del generador de 140-180°C. Los equipos de doble efecto contienen adicionalmente un generador, un condensador y un intercambiador de calor con el ciclo de simple efecto a un nivel de presión superior.

Los equipos que se encuentran más comúnmente son:

- Agua / Bromuro de litio para aplicaciones de aire acondicionado generalmente: el agua es el refrigerante y el bromuro de litio es absorbedor

- Amoniaco / Agua para aplicaciones de refrigeración industrial (<5°C): en este caso, el amoniaco es el refrigerante y el agua el absorbedor

### 2.2.1.3.1.1 Ventajas e Inconvenientes

Se detallan a continuación las ventajas de un sistema de absorción:

- A falta de compresor mecánico, no existen ruidos ni vibraciones molestas
- Se requiere de poco mantenimiento ya que no dispone de elementos móviles
- Permite valorizar la energía residual y por lo tanto no consumir electricidad

Los principales inconvenientes son:

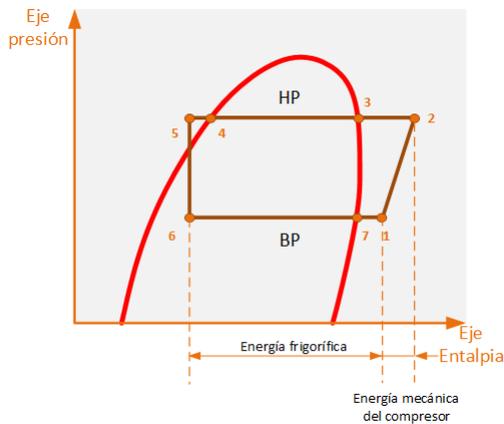
- Eficacia (COP) limitado
- Costo elevado

### 2.2.1.4 Eficacia energética

#### 2.2.1.4.1 COP y EER

El COP es una unidad de medida que permite conocer la cantidad de energía eléctrica consumida por el sistema sobre el calor producido en el condensador.

Figura 14 Diagrama de Molliere Potencia frigorífica



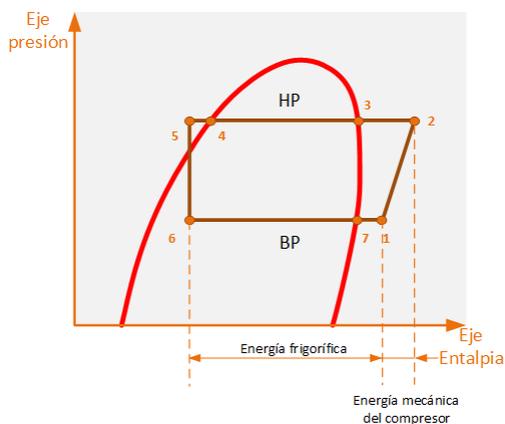
Ecuación 1 COP (explicación)

$$COP = \frac{\text{Energía calorífica condensador} + \text{energía térmica compresor}}{\frac{\text{energía mecánica compresor}}{\eta_{\text{Mecánico}}}}$$

Ecuación 2 COP

$$COP = \frac{h_2 - h_5}{\frac{(h_2 - h_1)}{\eta_{\text{Mecánico}}}}$$

El EER correspondiente a la eficacia energética frigorífica, indica esa misma relación pero con el frío producido en el evaporador.



**Ecuación 3 EER (explicación)**

$$EER = \frac{\text{Energía frigorífica evaporador}}{\text{energía mecánica compresor}} \cdot \eta_{\text{Mecanico}}$$

**Ecuación 4 EER**

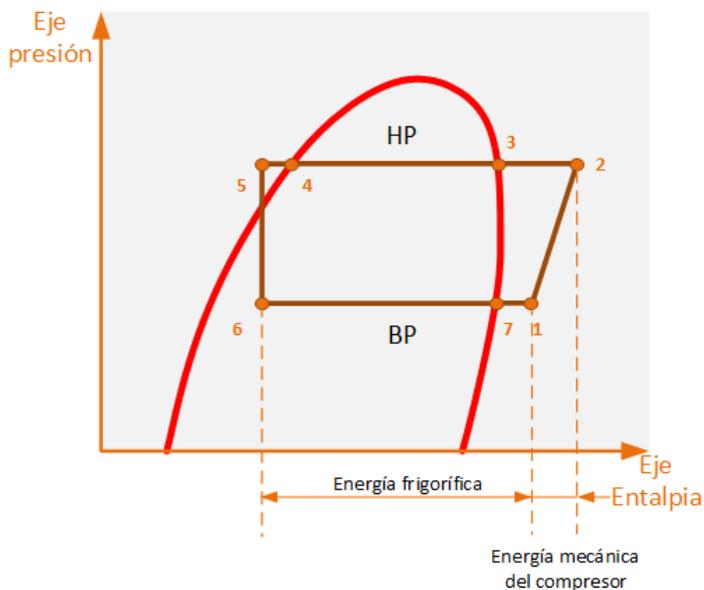
$$EER = \frac{h_1 - h_6}{(h_2 - h_1)} \cdot \eta_{\text{Mecanico}}$$

### 2.2.1.4.2 Efecto de las variaciones de las condiciones

Para visualizar la influencia del efecto de la variación de las condiciones sobre la eficacia energética del equipo, tomamos dos situaciones comunes de funcionamiento.

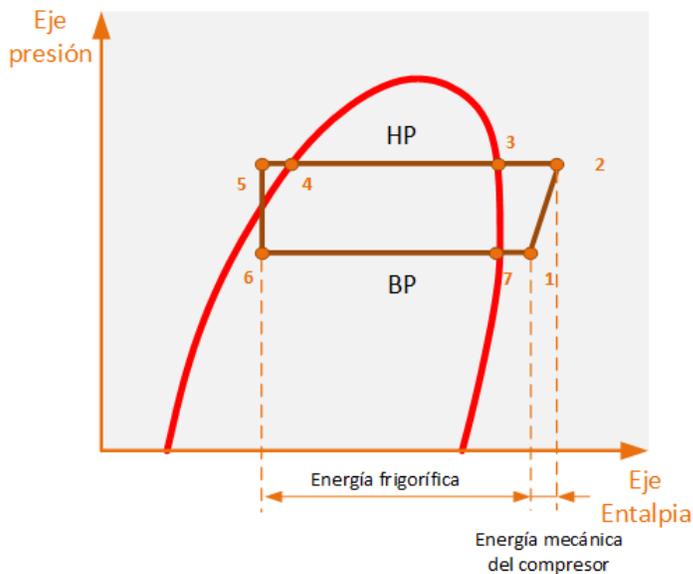
Funcionamiento a plena carga:

Figura 15 Diagrama de Mollier ciclo de frío plena carga



Funcionamiento a carga parcial:

Figura 16 Diagrama de Mollier ciclo de frío carga parcial



En el caso que el intercambio de energía en el evaporador disminuya, la diferencia de presión entre HP y BP se reduce, provocando un menor consumo eléctrico y restituyendo más energía frigorífica, lo que aumenta evidentemente la eficacia del equipo.

### 2.2.1.4.3 Valores comunes de EER según tipologías de sistemas

A modo indicativo se reflejan los valores medios de los sistemas más comunes de máquinas frigoríficas según el estándar ARI.

#### Clasificación de equipo

**Tabla 2 Clasificación equipo de aire acondicionado EER**

Programa	Código	Rechazo de calor	Código	Sistema	Código	Operación	Código	Ducto	Código	Compresor	Código
Enfriadores de líquido	LCP	Enfriado por aire	A	Paquete	P	Enfriamiento solamente	C	Ducto	D	Centrífugo	C
		Enfriado por agua	W	Dividido	S	Ciclo reversible	R	Sin ducto	N	Otro	O

#### Clasificación de eficiencia energética

El propósito de EEEC (Eurovent Energy Efficiency Classes) es simplificar la selección de la mejor unidad para cada tipo de enfriador. La clasificación es enteramente voluntaria.

**Tabla 3 Valores COP según EEEC Modo enfriamiento**

Clase EER	Modo enfriamiento					
	Enfriado por aire	Aire frío en ducto	Aire frío por piso	Enfriado por agua	Piso enfriado por agua	Condensador remoto
A	>=3.1	>=2.7	>=3.8	>=5.05	>=5.1	>=3.55
B	2.9-3.1	2.5-2.7	3.65-3.8	4.65-5.05	4.9-5.1	3.4-3.55
C	2.7-2.9	2.3-2.5	3.5-3.65	4.25-4.65	4.7-4.9	3.25-3.4
D	2.5-2.7	2.1-2.3	3.35-3.5	3.85-4.25	4.5-4.7	3.1-3.25
E	2.3-2.5	1.9-2.1	3.2-3.35	3.45-3.85	4.3-4.5	2.95-3.1
F	2.1-2.3	1.7-1.9	3.05-3.2	3.05-3.45	4.1-4.3	2.8-2.95
G	<2.1	<1.7	<3.05	<3.05	<4.1	<2.8

**Tabla 4 Valores COP según EEEC Modo calor**

Modo Calor					
Clase COP	Enfriado por aire	Aire frío en ducto	Aire frío por piso	Enfriado por agua	Piso enfriado por agua
A	$\geq 3.2$	$\geq 3.0$	$\geq 4.5$	$\geq 4.45$	$\geq 4.5$
B	3.0-3.2	2.8-3.0	3.9-4.05	4.15-4.45	4.25-4.5
C	2.8-3.0	2.6-2.8	3.75-3.9	3.85-4.15	4.0-4.25
D	2.6-2.8	2.4-2.6	3.6-3.75	3.55-3.85	3.75-4.0
E	2.4-2.6	2.2-2.4	3.45-3.6	3.25-3.55	3.5-3.75
F	2.2-2.4	2.0-2.2	3.3-3.45	2.95-3.25	3.25-3.5
G	$< 2.2$	$< 2.0$	$< 3.3$	$< 2.95$	$< 3.25$

#### 2.2.1.4.4 Nuevas reglamentaciones

El resultado obtenido por ambas relaciones fluctúa en base a las condiciones exteriores y demanda de energía térmica. Recientemente, los fabricantes deben mencionar dos nuevos indicadores el SCOP y el SEER. El COP y EER son unidades de medida que permiten medir la eficacia de las máquinas frigoríficas para unas condiciones específicas de temperatura exterior y carga de potencia, por lo cual los fabricantes favorecían las tecnologías para disponer de altas eficacias para ciertas condiciones específicas. En vista de ese abuso, se desarrollaron nuevas relaciones SCOP y SEER que miden la eficacia de los equipos para condiciones reales de una zona geográfica concreta durante el periodo de un año. Esto debido a que los equipos funcionan de forma parcial ya que se encuentran dimensionados para unas condiciones máximas puntales de demanda. Por lo tanto, la letra S que acompaña los nuevos coeficientes se refiere a “seasonal” (estacional). No existe una relación directa entre los anteriores coeficientes y los nuevos, siendo esto parámetros otorgados por parte de los fabricantes.

##### 2.2.1.4.4.1 Eficiencia del sistema de absorción

Una máquina frigorífica es energéticamente eficaz siempre y cuando la demanda de energía es baja para la entrega de potencia frigorífica. Esta eficacia se evalúa en base al cálculo de COP, que corresponde a la energía frigorífica producida sobre la energía entregada por el compresor.

- En el caso de un equipo frigorífico convencional, la potencia entregada es eléctrica y su COP puede alcanzar un valor de 3 o mayor.
- En el caso de un equipo de absorción, el COP se sitúa en torno a 0.7 y la fuente de energía es calor.

## 2.2.2 Visión desde el punto de vista exterior:

El confort térmico de los usuarios de un edificio o local está directamente ligado a las consignas tanto de temperatura como de humedad.

Estas condiciones de confort suelen ser impuestas en grandes construcción en los anteproyectos con una cierta tolerancia.

Se denominan cargas térmicas, los factores físicos tanto interiores como exteriores que alteran la temperatura e higrometría interior del local. Por lo tanto, son un elemento importante en el diseño de una instalación como en el consumo energético de la misma.

Por ello, los equipos se encuentran dimensionados para cubrir las necesidades máximas de los locales, considerando las aportaciones interiores como exteriores, para poder aportar la potencia necesaria para mantener las condiciones ambientales deseadas.

En este apartado del documento, se procederá a analizar cada uno de esos factores que influyen en las condiciones interiores, siguiendo el siguiente desglose:

- Aportaciones internas: que se presentan bajo forma de desprendimiento de calor sensible y latente teniendo como origen:
  - Ocupación
  - Iluminación
  - Equipos y procesos
  
- Aportaciones externas que representan las aportaciones del ambiente externo al edificio:
  - Radiación solar
  - Infiltración de aire
  - Conducción
  - Convección

Existen numerosas metodologías de cálculo para determinar estas cargas térmicas tales como ASHRAE, CARRIER, AICVF, etc...). En nuestro caso, aplicaremos la de G Porcher.

### 2.2.2.1 Aportaciones internas

#### 2.2.2.1.1 Aportaciones debidas a la ocupación

El ser humano es foco de transformaciones exotérmicas similares a un generador térmico cuya intensidad es variable, según:

- El individuo y su actividad desarrollada (metabolismo)
- La temperatura seca del aire interior del recinto
- El grado higrométrico

Por lo tanto estos fenómenos pueden trasladados a las siguientes ecuaciones:

**Ecuación 5 Potencia sensible**

$$H_{RS} = N * C * H_S$$

**Ecuación 6 Potencia latente**

$$H_{RL} = N * H_L$$

**Ecuación 7 Potencia Total**

$$H_{RT} = H_{RS} + H_L = C * H_S + H_L$$

Donde,

- $H_{RS}$  : Aportaciones reales de calor sensible debido a la ocupación en w (ver anexo 2)
- $H_{RL}$  : Aportaciones reales de calor latente debido a la ocupación en w (ver anexo 2)
- $H_{RT}$  : Aportaciones reales totales de calor sensible y latente en w
- $N$ : Número de personas
- $C$ : Coeficiente de corrección que tiene en cuenta el tiempo de ocupación total y de la inercia del edificio
- $H_S$ : Aportaciones instantáneas de calor sensible debido a la ocupación w/per.
- $H_L$ : Aportaciones instantáneas de calor latente debido a la ocupación w/per.

### 2.2.2.1.2 Aportaciones debidas a la iluminación

Las luminarias constituyen una fuente de calor sensible. Este calor es disipado principalmente por radiación y convección. A título informativo, según el tipo de luminaria la energía eléctrica consumida se transforma en:

**Tabla 5 Tipo de aportación térmica debido a la Iluminación**

Tipo de luminaria	Radiación		Convección
	Luminosa	Infrarroja	
Lámparas incandescentes	10%	70%	20%
Lámparas fluorescentes	20%	30%	50%

La energía radiada por las luminarias es inicialmente absorbida por los muros y posteriormente cedida al ambiente interior. Cuando la capacidad de absorción de los materiales disminuye, el calor cedido al aire ambiente aumenta.

Por lo tanto, se dispone de lo siguiente:

**Ecuación 8 Aportación térmica debido a iluminación**

$$H_{ilu} = M \times W_{abs}$$

- $H_{ilu}$  : Aportaciones reales en W (ver anexo 3)
- $W_{abs}$ : Potencia eléctrica realmente instalada para la iluminación en w
- M: Coeficiente de corrección en función del tipo de luminaria, tiempo transcurrido después del encendido, inercia del edificio, duración de funcionamiento de la iluminación y tiempo de funcionamiento de la climatización.

Si la iluminación del recinto se mantiene prendida las 24 horas del día, el valor del coeficiente M es 1.

**2.2.2.1.3 Aportaciones debidas a los equipos y procesos**

Todos los aparatos eléctricos disipan en el transcurso de su funcionamiento calor, la mayor parte de estos aparatos constituyen una fuente de calor sensible pero en cierto caso además latente.

Por lo tanto podemos distinguir lo siguiente:

- Equipos que aportan únicamente calor sensible: motores eléctricos, computadoras, impresoras, etc...
- Equipos que aportan calor sensible y latente: hornos, lavadoras, etc...

Los valores de las aportaciones caloríficas de los equipos son generalmente facilitados por fabricantes.

Estas aportaciones son estimadas por la siguiente relación matemática:

**Ecuación 9 Aportaciones debido a procesos y equipos**

$$H_{RTmáquinas} = \sum (H_{S\ máquinas} + H_{L\ máquinas})$$

Donde,

- $H_{RTmáquinas}$  : Aportaciones reales de calor total debido a las máquinas en w
- $H_{S\ máquinas}$ : Aportaciones instantáneas de calor sensible debido a las máquinas en w
- $H_{Lmáquinas}$ : Aportaciones instantáneas de calor latente debido a las máquinas en w

## 2.2.2.2 Aportaciones externas

### 2.2.2.2.1 Transmisión

Las pérdidas o aportaciones de calor por transmisión ligadas a los cerramientos y elementos constructivos, se calculan en base a la siguiente ecuación:

#### Ecuación 10 Aportaciones debido a transmisión

$$P_t = \left( \sum U \cdot S \cdot \Delta T + \sum \psi \cdot L \cdot \Delta T \right)$$

- U : Coeficiente de transmisión de calor superficial del elemento estudiado en W/(m<sup>2</sup>.°C)
- S Superficie del elemento constructivo estudiado en m<sup>2</sup>
- $\psi$  Coeficiente de transmisión de calor lineal de los elementos constructivos en W/(m.°C)
- L Longitud del elemento constructivo estudiado en m
- $\Delta T$  Diferencia de temperatura entre las dos fachadas de elementos constructivos estudiados en K

Las superficies y longitudes de los diferentes elementos constructivos se obtienen a través de los planos constructivos.

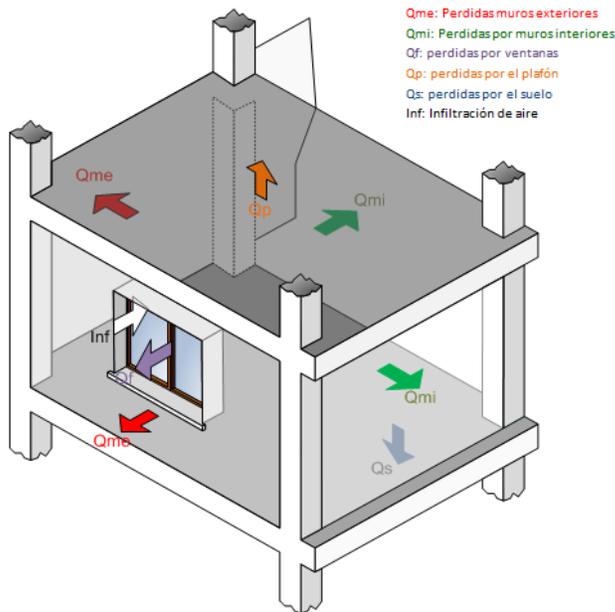
El coeficiente de transmisión de calor es un coeficiente que permite determinar la cantidad de calor que se transmite a través de los elementos constructivos.

Con el fin de determinar las pérdidas y aportaciones de energía, es fundamental considerar los dos tipos de coeficientes:

- Superficial: este coeficiente permite evaluar únicamente las pérdidas y ganancias de energía que se producen a través de la superficie de los elementos constructivos.
- Lineal: Este coeficiente lineal permite evaluar las pérdidas que se originan en las uniones de dos elementos constructivos.

### 2.2.2.2 Cálculos de los coeficientes de transmisión superficiales

Figura 17 Esquema de las transmisiones de calor en cerramientos



siguiente ecuación:

**Ecuación 11 Coeficiente de transmisión**

$$U = \frac{1}{R_t}$$

Para el cálculo de los coeficientes de transmisión, disponemos de la composición de los diferentes cerramientos que conforman el recinto y usamos la

- U Coeficiente de transmisión de calor superficial del elemento estudiado en  $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$
- $R_t$  Resistencia térmica global del cerramiento estudiado en  $(m^2 \cdot ^\circ C)/W$ . Esta resistencia es calculada en base a la suma de las resistencias de cada material que compone el muro.

**Ecuación 12 Resistencia térmica global**

$$R_t = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

$R_1, R_2, R_n$  Corresponden a las resistencias térmicas de las diversas capas homogéneas en  $(m^2 \cdot K)/W$

**Ecuación 13 Resistencia térmica**

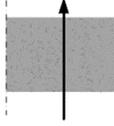
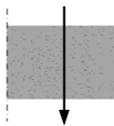
$$R = \frac{e}{\lambda}$$

$e$  Espesor de la capa homogénea en m

$\lambda$  Conductividad del elemento constructivo de la capa en  $W/(m \cdot K)$

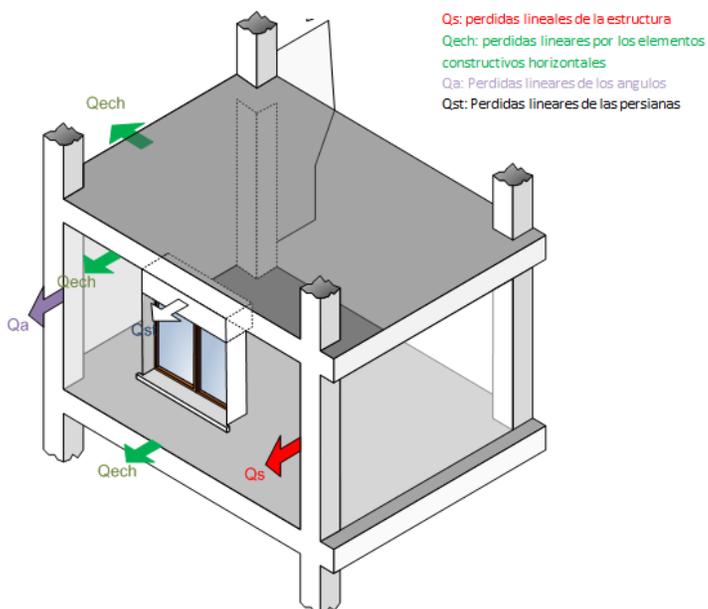
$R_{si}, R_{se}$  Corresponden a las resistencias superficiales exterior e interior en función del sentido del flujo de calor y de la disposición del elemento constructivo.

Tabla 6 Resistencia superficial exterior e interior

Posición del elemento constructivo y sentido del flujo de calor		Rse	Rsi
Elemento constructivo vertical o con pendiente en base al plano horizontal $>60^\circ$ y flujo de calor horizontal.		0.04	0.13
Elementos constructivos horizontales o con pendiente en base al plano horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente		0.04	0.10
Elemento constructivo horizontal y flujo de calor descendente		0.04	0.17

### 2.2.2.2.3 Cálculo de los coeficientes de transmisión lineales

Figura 18 Esquema de las transmisiones de calor lineal en cerramientos



Las pérdidas y ganancias energéticas debidas a este fenómeno lineal, suele rondar el 20% de la energía total debida a la transmisión. Esta energía puede ser estimada a través del cálculo del coeficiente térmico lineal  $\psi$ .

Su determinación puede hacerse a través de diferentes métodos que ofrecen márgenes de error variables.

- Método numérico (5% de error): se utiliza cuando la construcción está realizada y se dispone de todos los elementos (espesores, marca exacta de materiales, características de los elementos). Este método es complejo y solicita programas de cálculo específicos.
- Catálogo de puentes térmicos (20% de error): método comúnmente utilizado cuando se disponen de los elementos constructivos pero no de la marca exacta.
- Valores por defecto (0 y 50% de error): método utilizado en anteproyecto.

En nuestro caso, utilizaremos el catálogo de coeficientes de la UNE.

#### 2.2.2.2.4 Cargas debidas a las infiltraciones de aire

Las infiltraciones de aire dependen de la estanqueidad al aire del conjunto de la carpintería así como de la diferencia de presión entre el interior y el exterior del edificio.

Si el recinto está en sobrepresión, no existen infiltraciones de aire mientras que en el caso contrario si la presión relativa del local es nula o si está en depresión se deberá considerar esas cargas térmicas.

Las aportaciones en calor sensible se calculan con base en:

##### Ecuación 14 Aportaciones por calor sensible

$$H_s = q_{mas} \times C_p \text{ aire} \times (T_e - T_i)$$

Donde

- $T_e, T_i$ : Temperaturas exterior e interior en °C
- $C_{p \text{ aire}}$ : Calor másico del aire
- $q_{mas}$ : Caudal másico de aire infiltrado kg/h

Las aportaciones en humedad se expresan en base a la siguiente ecuación:

##### Ecuación 15 Aportaciones en humedad

$$q_{m \text{ vap}} = q_{m \text{ as}} \times (r_e - r_i)$$

- $r_e, r_i$ : Humedad específica exterior e interior ( $\text{Kg}_{\text{agua}}/\text{Kg}_{\text{as}}$ )

Las aportaciones totales se calculan a partir de:

#### Ecuación 16 Aportaciones totales

$$H = q_{mas} \times (h_e - h_i)$$

$h_e, h_i$ : Entalpia del aire interior y exterior en KJ/kg<sub>as</sub>

Los caudales recomendados se adjuntan en el anexo 4.

#### 2.2.2.2.5 Cargas debidas a la radiación solar

La radiación solar constituye una de las mayores fuentes de calor en el transcurso del día, su influencia es mucho mayor en el caso de los acristalamientos que en los cerramientos opacos. Esta aportación debido al asoleamiento del acristalamiento es la suma de la porción de flujo solar global transmitido directamente y su valor es aproximadamente de 40% de la cantidad de flujo solar absorbido por el vidrio.

Figura 19 Esquema de transferencia de calor en acristalamientos

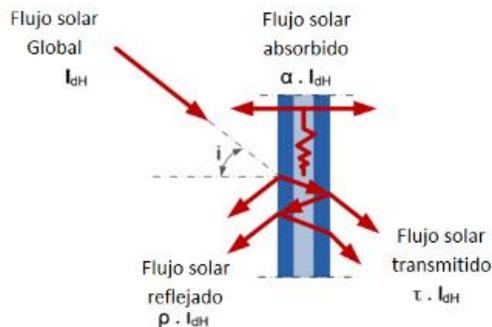
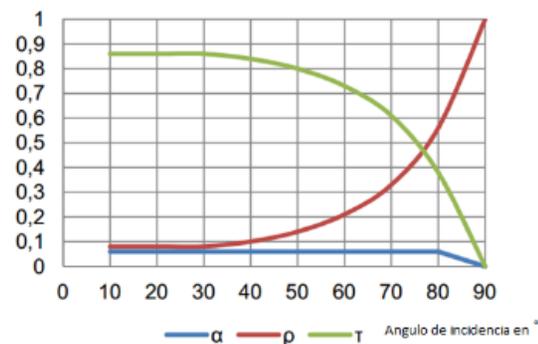


Figura 20 Reparto de los ángulos de incidencia acristalamientos



Como se puede apreciar en la gráfica anterior, disponemos de tres flujos solares:

- Una parte de la radiación solar se refleja y su valor depende del ángulo de incidencia. Esta energía se anota  $\rho I_{dH}$  ( $\rho$  siendo el coeficiente de reflexión).
- Otra parte de la radiación es transmitida y se anota  $\tau \cdot I_{dH}$  ( $\tau$  siendo el coeficiente de transmisión)
- El resto de la radiación solar es absorbida por el vidrio e implica un aumento de la temperatura de la superficie del acristalamiento. Esta parte se anota  $\alpha \cdot I_{dH}$  ( $\alpha$  siendo el coeficiente de absorción y su valor se sitúa en torno a 0.06). 39% de ese flujo es absorbido y transmitido al local.

Por lo tanto, disponemos de:

**Ecuación 17 Flujo solar**

$$\rho + \tau + \alpha = 1$$

Y el flujo introducido en el local es:

**Ecuación 18 Aportaciones por flujo solar**

$$\Phi_e = k_1 \times k_2 \times F_c \times N \times (\tau + 0.39 \alpha) \times I_{dh} \times S$$

- $k_1$ : Si el marco es metálico, se considera un coeficiente de 1,17 sino 1
- $k_2$ : Coeficiente que tiene en cuenta la diferencia de altitud y del tipo de atmósfera.
- $N$ : Coeficiente de corrección que afecta las aportaciones efectivas máximas para un simple acristalamiento
- $F_v$ : Factor solar del acristalamiento
- $I_{dh}$ : Flujo solar en  $W/m^2$
- $S$ : Superficie real de asoleamiento en  $m^2$

**2.2.2.5.1 FV. Factor solar**

Para tener en cuenta el tipo de acristalamiento (espesor, tratamiento eventual, protecciones solares...), se introduce la noción de factor solar cuya expresión es:

**Ecuación 19 Factor solar**

$$F_v = \frac{\text{Flujo transmitido por el acristalamiento real}}{\text{Flujo total transmitido a través de un cristal convencional}}$$

- Para un cristal convencional simple no protegido  $F_v=1$
- Para un acristalamiento con protección térmica  $F_v<1$

**2.2.2.5.2 Coeficiente de corrección “N” para las aportaciones efectivas máximas**

De igual forma que para la ocupación y la iluminación, se debe tener en cuenta de un desfase y amortiguación para disponer de las aportaciones reales de calor por el acristalamiento. Para ello, se utiliza el coeficiente N en base al tiempo de asoleamiento, la inercia del edificio y del tiempo de funcionamiento de la climatización.

### 2.2.2.2.6 Cálculo de la superficie real del acristalamiento soleado

Las ventanas suelen disponer de retranqueos o muros que producen sombras sobre el cristal. Para calcular la sombra, se debe determinar:

- La posición del sol (altura, acimut)
- Las dimensiones del retranqueo de la ventana

La superficie del acristalamiento asoleado es igual a:

**Ecuación 20 Superficie de acristalamiento asoleado**

$$S_a = (L - X) \times (H - Y)$$

La superficie de acristalamiento en la sombra es igual a:

**Ecuación 21 Superficie de acristalamiento en la sombra**

$$S_s = LH - (L - X) \times (H - Y)$$

En caso de que se trate de edificios u obstáculos que generen sombras, disponemos de la siguiente ecuación:

**Ecuación 22 Superficie de acristalamiento asoleado 1**

$$S_a = S_{tot} - S_s = S_{tot} - L_s \times H_s$$

Donde,

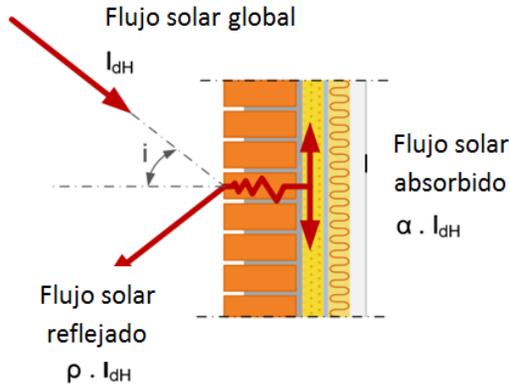
$$L_s = LA \times (1 + d \tan(\hat{\alpha}))$$

$$H_s = HB \times d \times \tan(h)$$

### 2.2.2.2.7 Aportaciones debidas al calor proveniente de la radiación solar sobre los muros

La radiación solar sobre las superficies opacas genera una elevación de temperatura en su cara asoleada. Esta temperatura llamada temperatura exterior equivalente se calcula en base a la siguiente ecuación:

Figura 21 Radiación solar sobre muros opacos



Ecuación 23 Temperatura exterior equivalente

$$T_{equ} = T_{ext} + \frac{\alpha I_{dH} S}{h_e}$$

Donde,

- $\alpha$ : Factor de absorción del cerramiento asoleado
- $I_{dH}$  Flujo solar en  $W/m^2$
- $S$ : Superficie del cerramiento asoleado en  $m^2$
- $h_e$ : Coeficiente de convección de la cara exterior del cerramiento asoleado  $W/m^2.K = 1/R_{se} = 1/0.04 = 25$
- $T_{ext}$  Temperatura exterior a la hora analizada y de la zona climática en  $^{\circ}C$

Tabla 7 Valores de los factores de absorción de materiales

Naturaleza del material	Factor de absorción ( $F_s$ )
<b>Azoteas y terrazas</b>	
Cartón bitumen	0.90
Arena	0.70
Agua	0.70
Pizarra	0.93
Teja	0.80
Plomo oxidado	0.30
<b>Paredes verticales</b>	
Azulejos claros	0.30
Cristal	0.06

Ladrillos rojos	0.85
Mármol pulido	0.60
Piedra caliza blanca	0.60
Granito pulido	0.45
Hierro pulido	0.06
Chapa de acero oxidada	0.80
Chapa de acero rugosa	0.94
Hierro fundido	0.80
Cobre pulido	0.04
Aluminio pulido	0.04
Aluminio oxidado	0.90
Chapa de acero galvanizado	0.70
Amianto-Cemento	0.96
Albañilería de tono claro	0.50
Albañilería de tono medio	0.70
Albañilería de tono oscuro	0.90
<b>Paredes exteriores pintadas</b>	
Pintura blanca	0.50
Pintura clara	0.60
Pintura oscura	0.90
Negro mate	1.00
Pintura de aluminio	0.60

Este cálculo se realiza como para un cerramiento no asoleado considerando la transmisión térmica del muro. La diferencia reside en la temperatura exterior considerada y que corresponde a la temperatura equivalente calculada con las ecuaciones anteriores.

**Ecuación 24 Flujo de transmisión**

$$\Phi = U \times S \times (T_{equ} - T_i)$$

- U : Coeficiente de transmisión del cerramiento en  $w/(m^2 \text{ } ^\circ\text{C})$
- S : Superficie del cerramiento en  $m^2$
- $T_{\text{equ}}$  : Temperatura exterior equivalente en  $^\circ\text{C}$
- $T_i$  : Temperatura interior en  $^\circ\text{C}$

### 2.2.2.3 Parámetros requeridos para el cálculo de cargas térmicas

Para el cálculo de las necesidades de potencia (dimensionamiento), debemos disponer de:

- Temperaturas de los diversos espacios en contacto con las zonas tratadas
- Radiación solar
- Iluminación
- Ocupación
- Ventilación
- Coeficientes de transmisión térmica

#### 2.2.2.3.1 Temperatura exterior

La temperatura exterior de cálculo para verano es la que supera 1% de las horas de los 4 meses más calurosos del año. (ver anexo 5)

#### 2.2.2.3.2 Temperatura interior

Esta temperatura para verano, se calcula en función del tiempo de permanencia y la temperatura de diseño exterior. Se considera permanencia larga los lugares de trabajo, media las zonas de paso tales como vestíbulos y áreas de circulación. El cálculo de esta temperatura se realiza a través de las siguientes ecuaciones.

##### Ecuación 25 Permanencia larga

$$t_i = 18 + 0.2 t_e$$

- $t_i$  : Temperatura interior de diseño en  $^\circ\text{C}$
- $t_e$  : Temperatura exterior de diseño en  $^\circ\text{C}$

##### Ecuación 26 Permanencia media

$$t_i = 16 + 0.3 t_e$$

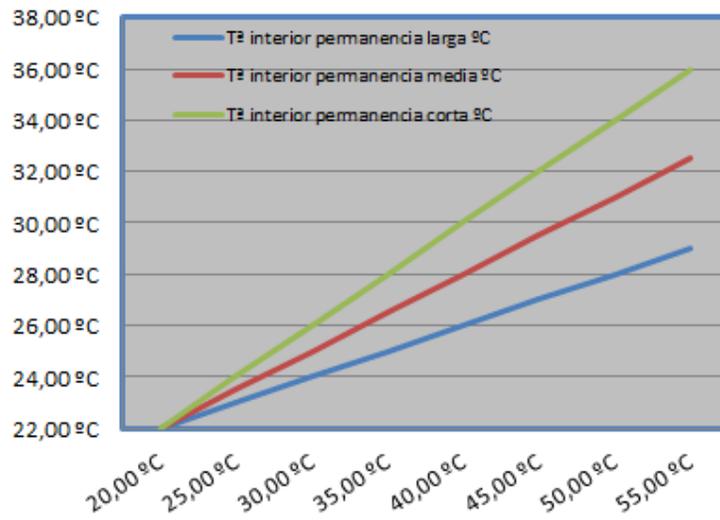
- $t_i$  : Temperatura interior de diseño en °C
- $t_e$  : Temperatura exterior de diseño en °C

**Ecuación 27 Permanencia corta**

$$t_i = 14 + 0.4 t_e$$

- $t_i$  : Temperatura interior de diseño en °C
- $t_e$  : Temperatura exterior de diseño en °C

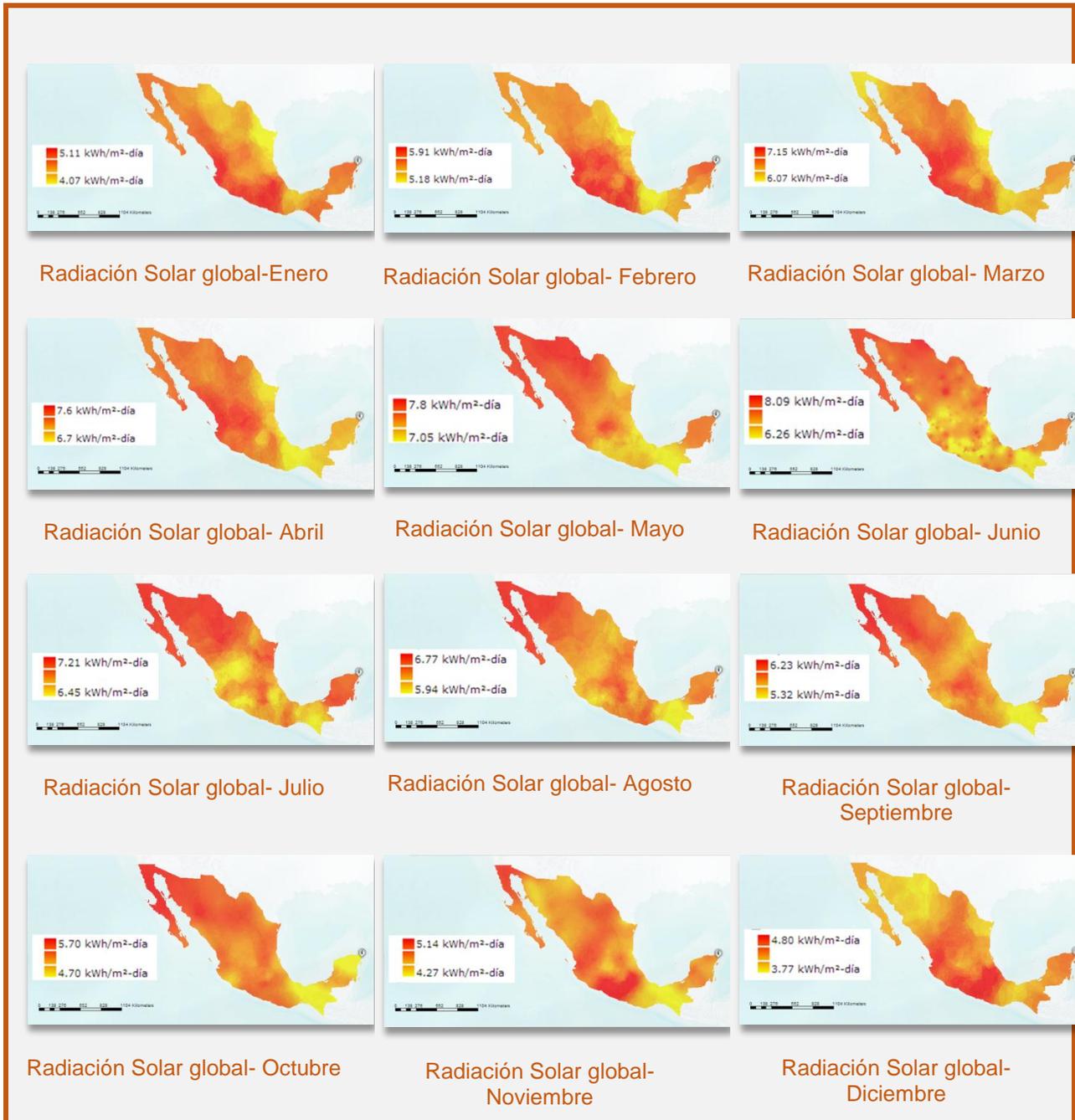
**Figura 22 Evolución de las condiciones interiores en función de la permanencia**



### 2.2.2.3.3 Radiación solar

En México se dispone de los valores de la radiación solar promedio mensual por cada zona de la república. Para el cálculo, se toman estos valores mensuales y se trasladan a un programa de modelización energética que reparte según la latitud, la altitud y esta radiación promedio, la irradiación incidente sobre las diversas superficies del recinto, considerando las orientaciones e inclinaciones de cada cerramiento analizado.

Figura 23 Radiación solar México



### 2.2.3 Balance de cargas térmicas

El balance de cargas térmicas es la sumatoria de la aportación de calor debida a los diversos factores anteriormente mencionados.

### 2.2.4 Diagrama del aire húmedo

#### 2.2.4.1 Características físicas del aire

Una instalación de climatización tiene como rol el de mantener unas condiciones fijas dentro del local que se desea climatizar.

Para ello, se utilizan procesos específicos para calentar, enfriar, humidificar o deshumidificar el aire.

Para poder visualizar las transformaciones del aire y determinar las potencias de los diferentes componentes de una instalación de climatización, se utiliza el diagrama psicrométrico o diagrama del aire húmedo.

Este tipo de diagrama, ofrece para todos los estados del aire, sus características físicas que son:

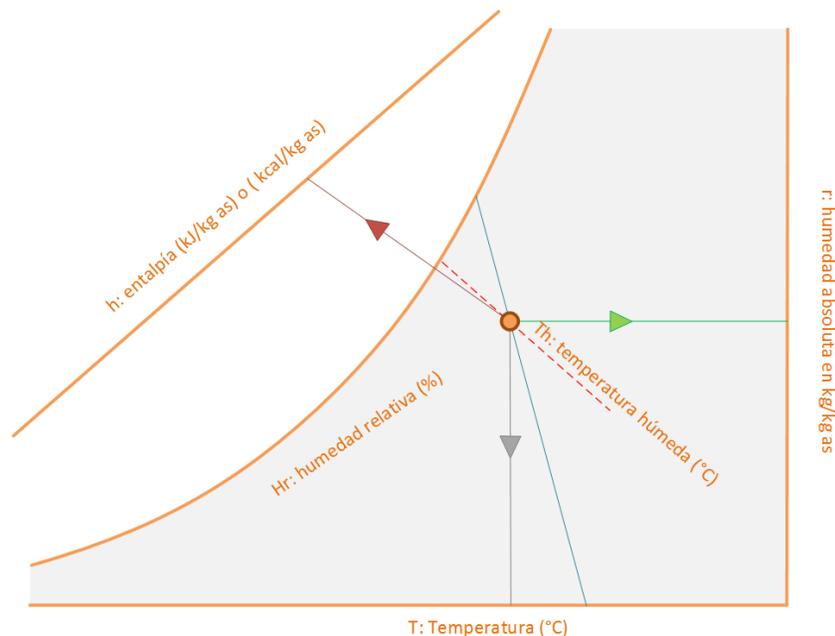
- Temperatura del bulbo seco
- Humedad absoluta
- Presión parcial
- Temperatura de rocío
- Humedad relativa
- Entalpia
- Temperatura del bulbo húmedo
- Densidad

#### 2.2.4.2 Lectura del diagrama del aire húmedo

- El eje de temperaturas indica la temperatura del aire. Se encuentra en °C.
- El eje de humedad absoluta indica la cantidad de humedad contenida en el aire. Se trata de la cantidad de vapor de agua en un kilogramo de aire seco. Se expresa en gramos de vapor de agua por kilogramos de aire seco y se anota r.
- La saturación de aire en vapor de agua limita la gráfica en la izquierda. Corresponde a la cantidad máxima de vapor de agua que el aire puede contener sin que condense. Cuando el aire contiene esa cantidad de vapor, se menciona que el aire se encuentra saturado de humedad o que su higrometría es del 100%.

- La humedad relativa o hidrometría representa para una temperatura determinada la relación entre humedad absoluta del aire y la humedad máxima que podría contener si hubiera saturación. La humedad relativa se anota  $\phi$  y se expresa en porcentaje. Las gráficas de higrometría inferiores al 100% corresponden a las curvas isotérmicas dentro del diagrama.
- La entalpia indica la energía contenida en el aire. Por convenio, la entalpia del aire totalmente seca a  $0^{\circ}\text{C}$  es nula. La entalpia aumenta con la temperatura del aire y su contenido en vapor de agua. Puede ser negativa para aire a temperatura por debajo de  $0^{\circ}$ , en función de su contenido en vapor. La entalpia se anota  $h$  y se expresa en kilojulios por kilogramo de aire seco. En el gráfico, unas líneas isoentálpicas recorren el interior del diagrama y cruzan la gradación de la entalpia para su lectura.
- El volumen específico del aire corresponde al volumen ocupado por un kilogramo de aire seco cargado de una cantidad de vapor. Se anota  $v$  y se expresa en metros cúbicos por kilogramo de aire seco. Este volumen aumenta con la temperatura, debido a la dilatación del aire y con el aumento de la cantidad de vapor de agua contenido (es más denso que el aire). En el gráfico, su lectura por medio de las curvas isócoras.

Figura 24 Diagrama del aire húmedo ejes

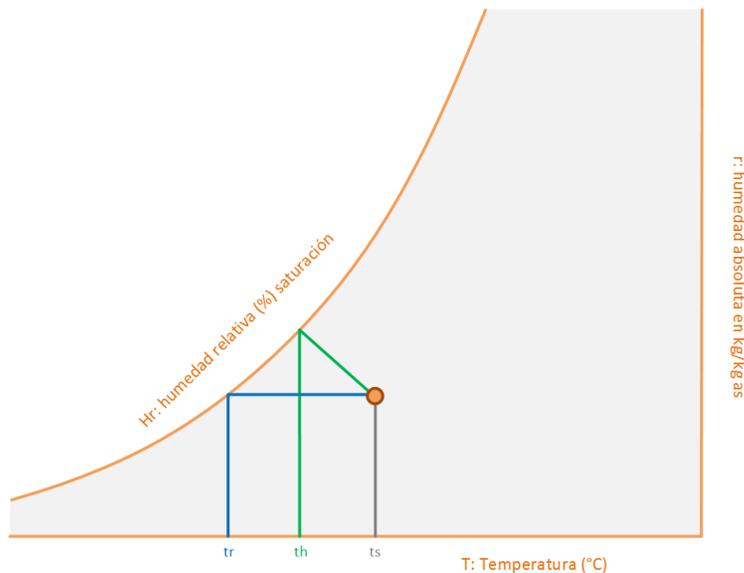


Con objeto de completar las definiciones relacionadas con el aire húmedo y el diagrama, se mencionan las tres temperaturas que se suelen utilizar en el aire acondicionado.

- La temperatura de rocío ( $t_r$ ) expresada en  $^{\circ}\text{C}$  corresponde a la temperatura a partir de la cual el vapor de agua contenido en el aire, empieza a condensar cuando el aire es enfriado.

- La temperatura húmeda ( $t_h$ ) expresada en  $^{\circ}\text{C}$  es la temperatura leída por un termómetro cuyo bulbo es recubierto de un algodón saturado de agua e inmerso en un flujo de aire. El aire en contacto con el bulbo genera una evaporación que provoca una disminución de la temperatura del bulbo que se estabiliza en cuanto el aire se satura.
- La temperatura seca ( $t_s$ ) expresada en  $^{\circ}\text{C}$  corresponde a la temperatura leída en un termómetro instalado en una corriente de aire en zona de sombra.

Figura 25 Representación de temperaturas húmeda, seca y rocío en diagrama



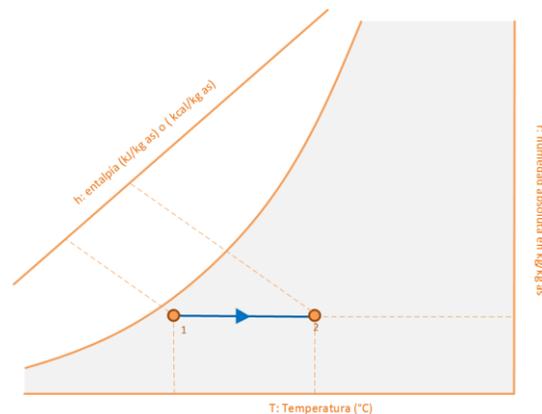
### 2.2.4.3 Evoluciones

#### 2.2.4.3.1 Sección de calentamiento

El calentamiento del aire se representa en el diagrama del aire húmedo por una línea recta entre 1 y 2, tal y como se observa en el esquema adjunto.

Se observa que cuando la temperatura seca  $t$  aumenta, la temperatura de rocío  $T_r$  se mantiene constante y la humedad absoluta  $r$  también.

Figura 26 Evolución sección de calor diagrama aire húmedo



### Cálculo de la potencia

Resulta evidente, que la temperatura de impulsión del aire para calentar un local, debe ser superior a la que se desea obtener en el local. Este aire impulsado, debe ser capaz de garantizar la temperatura deseada considerando las pérdidas de calor del propio local.

Para el cálculo de la potencia de la batería, se utiliza la siguiente ecuación:

#### **Ecuación 28 Potencia de la batería**

$$P_{21} = q_m \cdot \Delta h = q_m \cdot (h_2 - h_1)$$

Donde,

- $P_{21}$  Potencia de la batería de calor en kW
- $q_m$  Caudal másico de aire en kg/s
- $h_2$  Entalpía del aire en el punto b en kJ/kg
- $h_1$  Entalpía del aire en el punto a en kJ/kg

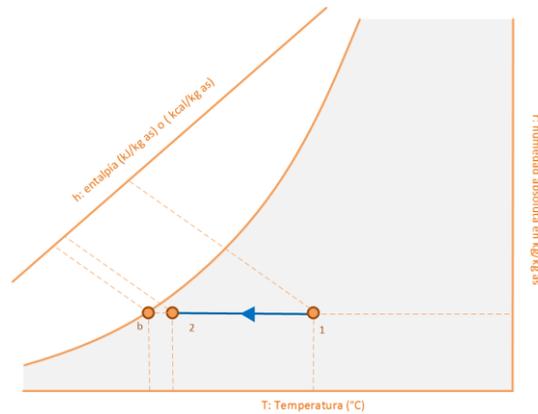
### **2.2.4.3.2 Sección de enfriamiento seco**

El enfriamiento es representado sobre el diagrama psicrométrico por una línea horizontal entre los puntos 1 y 2. Por lo tanto es la inversa a la de calentamiento del aire. En este caso de enfriamiento, la temperatura en la superficie de la batería o serpentín se sitúa por encima de la temperatura de rocío. Por lo tanto, no existe condensación en este tipo de enfriamiento.

Se observa que cuando la temperatura seca disminuye, la temperatura de rocío y humedad absoluta se mantienen constantes.

Para determinar la potencia de enfriamiento, se utilizarán por lo tanto las mismas ecuaciones que las de calefacción.

Figura 27 Evolución sección de frío seca diagrama aire húmedo



**Ecuación 29 Potencia de la batería**

$$P_{21} = q_m \cdot \Delta h = q_m \cdot (h_2 - h_1)$$

Donde,

- $P_{21}$  Potencia de la batería de calor en kW
- $q_m$  Caudal másico de aire en kg/s
- $h_2$  Entalpía del aire en el punto b en kJ/kg
- $h_1$  Entalpía del aire en el punto a en kJ/kg

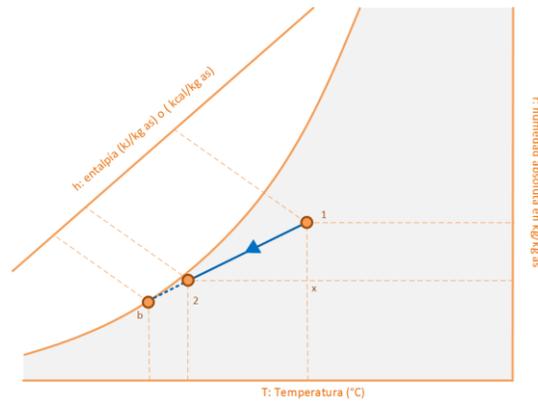
**2.2.4.3.3 Sección de enfriamiento húmedo**

El enfriamiento del aire, a una temperatura inferior a su punto de rocío se acompaña siempre de una deshumidificación (condensación del vapor de agua contenido en el aire).

La disminución de temperatura seca se acompaña, de la disminución de la temperatura de rocío y la disminución de la humedad absoluta.

Esta transformación modificación tanto el calor sensible como el calor latente del aire.

Figura 28 Evolución sección de frío húmedo diagrama aire húmedo



Ecuación 30 Potencia de la batería

$$P_{21} = q_m \cdot \Delta h = q_m \cdot (h_2 - h_1)$$

Donde,

$P_{21}$  Potencia de la batería de calor en kW

$q_m$  Caudal másico de aire en kg/s

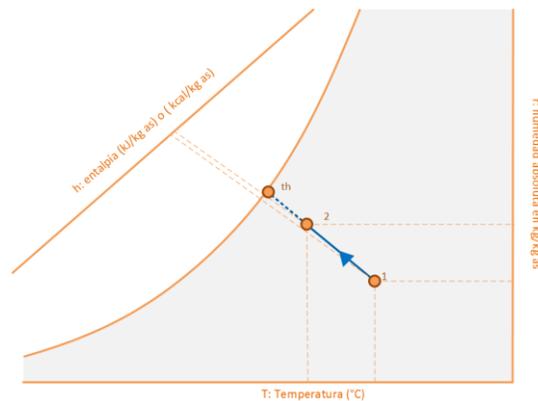
$h_2$  Entalpía del aire en el punto b en kJ/kg

$h_1$  Entalpía del aire en el punto a en kJ/kg

#### 2.2.4.3.4 Sección de humectación de agua

La evolución de este proceso es a una temperatura húmeda constante. Este tipo de evolución corresponde a las lavadoras de agua o bien un humidificador de contacto.

Figura 29 Evolución sección de humectación de agua diagrama aire húmedo



### Ecuación 31 Eficacia del sistema

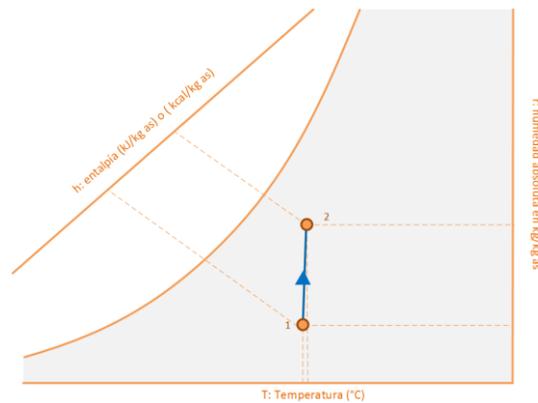
$$E_{21} = \frac{T_2 - T_1}{T_r - T_1}$$

E <sub>21</sub>	Eficacia
T <sub>1</sub>	Temperatura del aire en el punto 1 °C
T <sub>2</sub>	Temperatura del aire en el punto 2 °C
T <sub>r</sub>	Temperatura del rocío °C

### 2.2.4.3.5 Sección de humectación de inyección de vapor

La evolución de este proceso es a temperatura de bulbo seco sensiblemente constante.

Figura 30 Evolución sección de humectación de vapor diagrama aire húmedo



### Ecuación 32 Potencia suministrada

$$P_{21} = q_m \cdot \Delta h = q_m \cdot (h_2 - h_1)$$

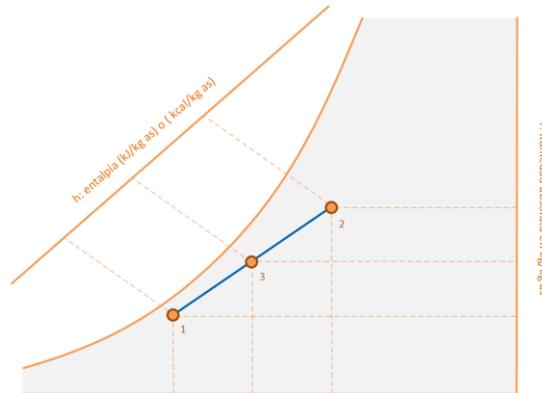
P <sub>21</sub>	Potencia de la batería de calor en kW
q <sub>m</sub>	Caudal másico de aire en kg/s
h <sub>2</sub>	Entalpía del aire en el punto b en kJ/kg
h <sub>1</sub>	Entalpía del aire en el punto a en kJ/kg

### 2.2.4.3.6 Sección de Mezcla

Este proceso se lleva a cabo en un cajón donde el aire del punto 1 y 2 se mezclan.

El punto de mezcla 3 se localiza entre la línea formada por el punto 1 y 2.

Figura 31 Evolución sección de mezcla diagrama aire húmedo



**Ecuación 33 Entalpía específica**

$$h_3 = \left( \frac{qm_1 \cdot h_1 + qm_2 \cdot h_2}{qm_3} \right)$$

**Ecuación 34 Humedad específica**

$$r_3 = \left( \frac{qm_1 \cdot r_1 + qm_2 \cdot r_2}{qm_3} \right)$$

**Ecuación 35 Temperatura**

$$T_3 = \left( \frac{qm_1 \cdot T_1 + qm_2 \cdot T_2}{qm_3} \right)$$

Donde,

$P_{21}$  Potencia de la batería de calor en kW

$qm_{1,2,3}$  Caudal másico de aire en el punto 1,2,3 en kg/s

$h_{1,2,3}$  Entalpía del aire en el punto 1,2,3 en kJ/kg

$r_{1,2,3}$  Humedad específica del aire en el punto 1,2,3 en kJ/kg

$T_{1,2,3}$  Temperatura del aire en el punto 1,2,3 en kJ/kg

## **3 COMPONENTES DE INSTALACIONES FRIGORÍFICAS**

Para poder llevar a cabo un análisis detallado de los sistemas de aire acondicionado más comunes en las PYMES, se procederá a describir bajo dos aspectos los componentes de una instalación:

- Desde el punto de vista de los emisores, tratando los sistemas más comunes
- Desde el punto de vista de la máquina de producción de agua fría de compresión, siendo la más empleada.

### **3.1 Emisores de climatización**

#### **3.1.1 Introducción**

En los sistemas de aire acondicionado se pueden distinguir 3 grandes familias de sistema de climatización que se clasifican por el modo de transporte de la energía térmica. Por lo tanto, disponemos de:

- A través de redes de aire
- A través de circuitos de agua helada
- Por contacto directo entre el aire a enfriar y el evaporador de la máquina de frío

En este apartado, realizaremos un análisis técnico de los diversos tipos de instalaciones de emisión más común, abordando el principio de funcionamiento, tecnologías y regulación.

#### **3.1.2 Sistemas autónomos y de expansión directa**

##### **3.1.2.1 Climatizadores individuales**

###### **3.1.2.1.1 Principio de funcionamiento**

Un equipo autónomo es una máquina frigorífica cuya función es la de extraer la energía calorífica de los locales para expulsarla al ambiente exterior.

Su funcionamiento se basa sobre el intercambio de energía y cambio de fases o estado de un fluido frigorífico.

- En el intercambiador evaporador, el fluido toma el calor del aire del local y se evapora.
- En el intercambiador condensador, el fluido en contacto con el ambiente exterior, se enfría y se condensa.

El compresor del ciclo frigorífico aumenta la presión del fluido, lo cual genera un incremento de la temperatura del freón, favoreciendo el intercambio entre el fluido y el ambiente exterior.

La válvula de expansión tiene como función reducir la presión del freón tras pasar por el condensador y por lo tanto reducir la temperatura y mejorar el intercambio en el evaporador.

### **3.1.2.1.2 Tipologías de los climatizadores de locales**

Existen numerosas tipologías de climatización:

#### **3.1.2.1.2.1 Climatizador portátil**

Se trata de un equipo de baja potencia frigorífica (por debajo de 2.5 kW), principalmente destinado al tratamiento de aire de locales. Esta tecnología requiere mantener una toma permanente de aire exterior o bien a través de una ventana como de una puerta.

Este tipo de equipos es cada vez menos utilizado y su uso suele ser de tipo provisional.

Si es de tipo monobloc, el aire de enfriamiento del condensador puede ser tomado del propio local (asumiendo una pérdida de potencia de 30% sobre la potencia instalada), o bien del exterior a través de un ducto flexible.

Si es de tipo separado, el compresor está instalado en la unidad interior. La distancia suele rondar los 2 metros.

#### **3.1.2.1.2.2 Climatizador de ventana**

El climatizador de ventana es un equipo de tipo monobloc que se encuentra instalado en un cerramiento exterior o ventana.

**Figura 32 Equipo de ventana marca CARRIER modelo CA**



Este tipo de equipo suele disponer de un único motor que se engrana con el compresor y ventiladores de aire. Eso genera que el ruido de funcionamiento se propaga al interior del local.

### 3.1.2.1.2.3 Equipos partidos o Split system

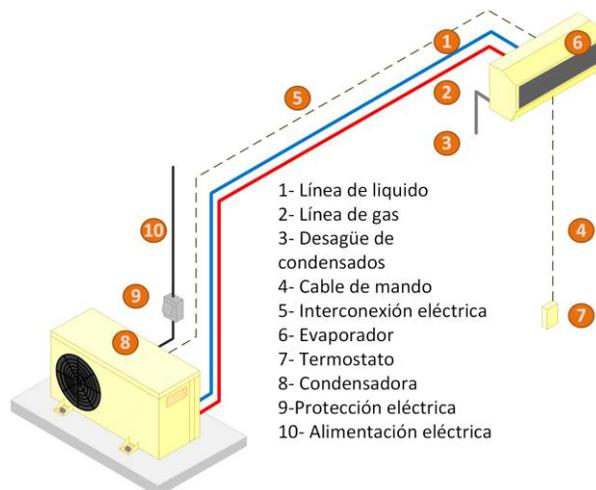
Estos equipos se caracterizan por la separación de la unidad de condensación con respecto a la unidad de evaporación.

En este tipo de sistemas, el evaporador suele estar ubicado en el local, mientras que el condensador y compresor se ubican en el exterior, limitando el ruido para el usuario.

En cada caso, las unidades se encuentran interconectadas por un circuito frigorífico y cableado eléctrico, donde las longitudes se adaptan a cada caso, permitiendo una multitud de usos.

Nota: En muchas ocasiones, las unidades exteriores se ubican en garajes o locales cerrados. Para que funcione correctamente, resulta indispensable que el local se encuentre perfectamente ventilado.

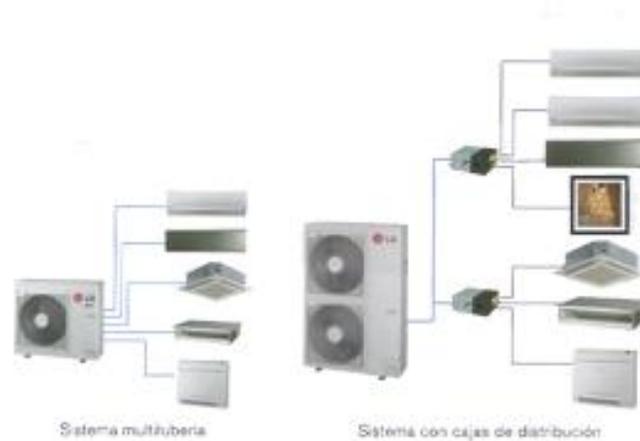
**Figura 33 Esquema componentes split system**



#### 3.1.2.1.2.4 Multi-split

En este tipo de sistemas una única unidad exterior se encuentra conectada a multitud de unidades interiores, a través de circuitos frigoríficos y cableados eléctricos.

**Figura 34 Sistema multi-split marca LG**



#### 3.1.2.1.2.5 Roof top o equipo compacto de exterior

La unidad de evaporación y de condensación se encuentra instalada en el mismo equipo, y el aire del local se aspira y refrigera por medio de ductos que se distribuyen por el interior del local.

**Figura 35 Equipo rooftop marca CARRIER modelo 50/48UA-UH**



### **3.1.2.1.3 Componentes**

#### **3.1.2.1.3.1 Función calor**

Existe la posibilidad de integrar el calor en los sistemas anteriormente detallados y para ello se detallan tres posibles soluciones:

Solución 1: Implantar una resistencia eléctrica de apoyo

Esta solución suele ser una opción del fabricante para garantizar el suministro de energía calorífica. Es una solución costosa en energía ya que se utiliza directamente energía eléctrica para calentar el local a través del efecto joule.

Solución 2: instalar una batería de agua caliente en el equipo

Esta solución se adopta en equipos de tipo roof-top o paquetes poniendo una batería de agua caliente alimentada por un boiler a los ductos o dentro de los propios equipos. Su regulación se efectúa a través de una válvula de tres vías que modula la cantidad de energía calorífica emitida por la batería.

Solución 3: Seleccionar la máquina frigorífica reversible con funcionamiento como bomba de calor.

En una máquina frigorífica, el ciclo del fluido frigorífico puede ser invertido a través de una válvula de 4 vías a la salida del compresor. En ese momento, la batería de evaporación se transforma en condensación y la de condensación en evaporación. Se trata de un equipo reversible.

Cuando el equipo dispone de esta válvula y ciclo reversible, estamos en presencia de una unidad bomba de calor ya que puede entregar calor o frío al local climatizado.

El sobrecosto de este tipo de unidades frente a equipos solo frío es bajo y se sitúa en torno al 15 y 25%. El costo operativo de producir calor con este tipo de sistema frente a la resistencia es

de 2 a 3 veces más económico. Sin embargo, se debe considerar que para condiciones exteriores extremas que puedan generar hielo, el coeficiente de eficacia de la unidad se reduce considerablemente.

Función ventilación

En algunos equipos existe la posibilidad de integrar una toma de aire exterior para garantizar una mínima ventilación del aire del local, mejorando la calidad del aire.

### **3.1.2.1.4 La regulación de los climatizadores**

#### **3.1.2.1.4.1 Regulación de la temperatura ambiente**

En este sistema de regulación, un termostato ubicado en el ambiente regula la temperatura interior del local, actuando sobre el funcionamiento del compresor. El ventilador de impulsión de aire funciona de forma simultánea con el compresor, o también en ciertos casos de forma continua. En este segundo caso, el modo de funcionamiento es más favorable al confort interior, ya que mantiene un movimiento de aire continuo y evita estratificaciones del aire interior, las cuales causan molestias.

Este tipo de mando o termostato suele estar acompañado de otras funciones, tales como horarios de uso, entre otras.

#### **3.1.2.1.4.2 Regulación del compresor**

Un climatizador, diseñado para cubrir las necesidades térmicas máximas de un local, funciona casi todo el año a carga parcial por la simultaneidad de las cargas. El mantener un control de funcionamiento únicamente por marcha y paro, puede por lo tanto generar malestar por las fluctuaciones de temperatura del local.

En algunos casos, los climatizadores se encuentran equipados de compresores a velocidad variable que pueden adaptar su funcionamiento a las cargas térmicas reales del local. Este tipo de sistema es denominado "INVERTER". Su regulación se basa en variar la velocidad del compresor sin grandes pérdidas de eficacia. Estos equipos arrancan en baja velocidad, evitando los picos de corriente debido a los arranques. Esta tecnología tiene inconvenientes ya que genera cargas parásitas en el sistema eléctrico. Estos problemas en la brevedad estarán resueltos con la incorporación de motores a corriente continua en pequeñas potencias.

Cuando una unidad exterior se encuentra conectada a varias unidades interiores (Multi-Split), las condiciones interiores de cada zona tratada debe poder ser regulada de forma independiente. En ese caso concreto, una regulación de la velocidad del compresor permite adaptar la potencia de producción de frío en base a las necesidades reales del conjunto de las zonas.

Por ello, la técnica que hasta hoy en día se fomentaba a través de compresores alternativos (pistón), de gran fiabilidad, se encuentra sustituida por:

Compresores rotativos:

- Rendimiento similar
- Menor nivel sonoro
- Funcionamiento a velocidad variable

Compresores scroll:

- Mayor rendimiento
- Nivel sonoro aún más reducido
- Funcionamiento a velocidad variable

#### 3.1.2.1.4.3 Regulación del condensador

Algunos locales requieren de frío durante los periodos intermedios e invernales como las salas de equipamiento informático. En ese caso, cuando la temperatura exterior es baja, la capacidad del condensador en evacuar el calor aumenta.

Sin embargo, ese fenómeno altera el correcto funcionamiento del evaporador que conlleva una pérdida de potencia del intercambio en ese elemento. Por lo tanto, las condiciones deseadas en el interior de los locales a climatizar se ve alterada y en algunos casos, el equipo se bloquea por baja presión.

Para evitar este tipo de disfunciones, se debe poder regular la potencia del condensador en base a la temperatura exterior, que en el caso de que disminuya, el caudal de aire que atraviesa el condensador sea disminuido para mantener el intercambio térmico.

En lo ideal, se deberá seleccionar un ventilador que pueda variar su velocidad. Por ello, cuando los equipos deban funcionar en periodos de baja temperatura exterior (por debajo de 17°C), los ventiladores del condensador deberán disponer de variación de velocidad. El control de velocidad se verá supeditado a un termostato o presostato ubicado en el condensador, manteniendo la potencia de intercambio.

En algunos casos, esta velocidad podrá ser manejada a través de etapas de ventilación todo o nada.

#### 3.1.2.1.5 Selección y ubicación del termostato de ambiente

Para disponer de un control optimizado, además del control de temperatura se deben incorporar funciones de automatización de arranque y paro programado por ejemplo.

Además, en lo ideal, el climatizador deberá disponer de una regulación compensada en base a la temperatura exterior. Esa función que en instalaciones de gran capacidad y centralizadas es automatizado en los climatizadores individuales debe ser realizada de forma manual.

Por ello, se aconseja un diferencial de temperatura entre el exterior y el interior de no más de 6°C, para evitar choques térmicos que pueden generar malestar cuando se accede a las zonas tratadas.

Por lo tanto, depende del usuario el modificar de forma manual los sets-points de temperatura en base a la temperatura exterior. Por razones de ahorro de energía y de confort, no se pueden

mantener consignas de temperatura de 22°C si la temperatura exterior está en 32°C, ya que a efectos de bienestar se debería situar en 26°C.

El ventilador de impulsión del aire puede ser supeditado al funcionamiento del compresor o puede funcionar de forma continua, siendo este la mejor forma de mantener unas condiciones de bienestar aceptables, evitando flujos de aire fluctuantes.

La ubicación del termostato también tiene un rol importante en el consumo de energía y confort. Debe situarse en un lugar representativo de la temperatura media del local, es decir alejado de las fuentes de calor o frío (lámparas, equipos informáticos, entre otros.)

La ubicación del mando del termostato y su facilidad para manipularlo es esencial para una gestión eficaz en las condiciones interiores, ya que en caso de no ser accesible, el usuario no se molestará en modificar las consignas.

### 3.1.2.2 Armarios de climatización

#### 3.1.2.2.1 Principio de funcionamiento

Un armario de climatización es un climatizador de tipo vertical que se ubica directamente en el local a tratar. Normalmente, este tipo de tecnología se emplea en las salas informatizadas y data centers.

Figura 36 Armario de climatización marca CAITESA modelo Magister 2



Figura 37 Armario de climatización marca LIEBERT modelo Intelecool 2



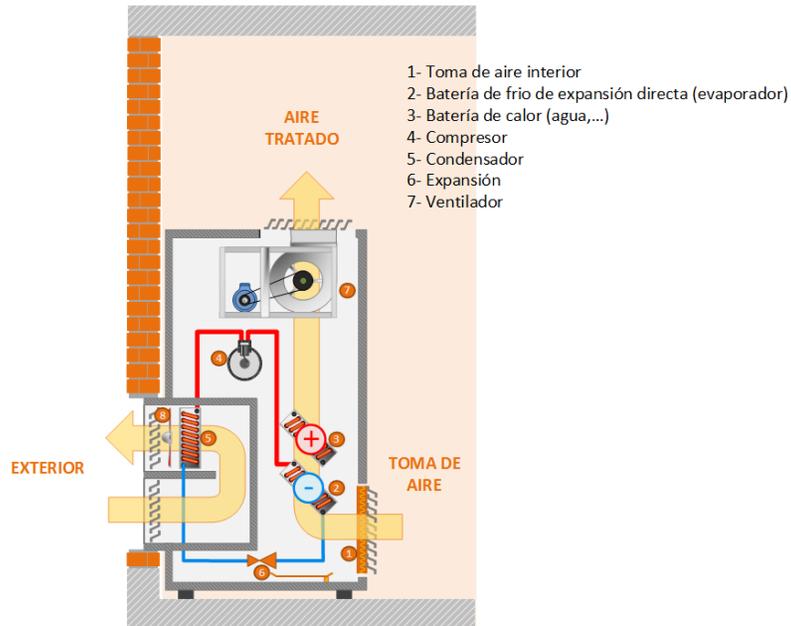
Este tipo de equipo agrupa una serie de secciones y elementos necesarios para garantizar unas condiciones ambientales ideales según las exigencias requeridas:

- Filtración
- Batería de frío
- Batería de calor (eléctrica o de agua)
- Humidificador

- Ventilador centrífugo

Suelen ser equipos autónomos, ya que la batería de frío es normalmente atravesada por el fluido refrigerante (evaporador), lo cual implica que todo los componentes de un equipo frigorífico se encuentran instalados en su interior. Por ello, estos sistemas se llaman de expansión directa.

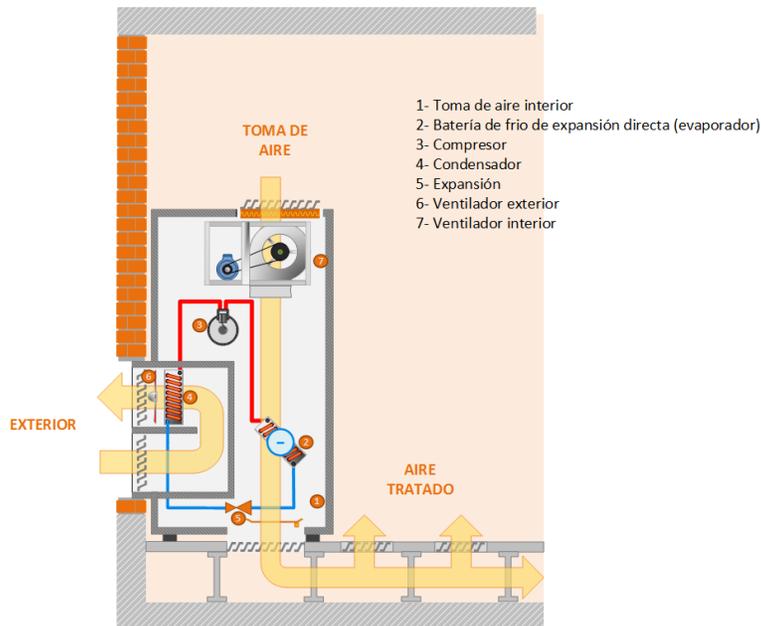
Figura 38 Ejemplo de esquema de funcionamiento armario de climatización



En la mayoría de los casos, el retorno del aire se realiza por la parte inferior del equipo e impulsado, una vez tratado por la parte superior donde se puede descargar libremente o bien a través de ductos de distribución de aire.

También, en ciertos casos la configuración de la aspiración y descarga del aire es invertida, permitiendo repartir el aire tratado por los falsos suelos. Esta solución se adopta en salas informáticas y data centers, permitiendo un enfriamiento completo de los tableros y cableados eléctricos.

Figura 39 Esquema típico de armario de climatización con impulsión de aire por falso suelo



### 3.1.2.2.2 Aspectos tecnológicos

#### 3.1.2.2.2.1 Calentamiento del aire

Según el cálculo de cargas podremos disponer para el calentamiento del aire del local de lo siguiente:

- No instalar equipamiento de aportación de calor
- Instalar una resistencia eléctrica de apoyo (inversión baja pero alto gasto operativo)
- Instalar una batería de agua conectada a un boiler
- Seleccionar un equipo de tipo reversible “bomba de calor”

#### 3.1.2.2.2.2 Humidificación del aire

En algunos casos, se exige un control sobre la humedad del local, por ello, estos equipos disponen de la posibilidad de incorporar humidificadores dentro de la propia unidad o bien en los ductos de descarga del aire. Estos humidificadores suelen ser de vapor.

#### 3.1.2.2.2.3 Condensadores

Los armarios de climatización se distinguen por sus características tecnológicas a nivel del condensador. Existen diversas tipologías de sistemas:

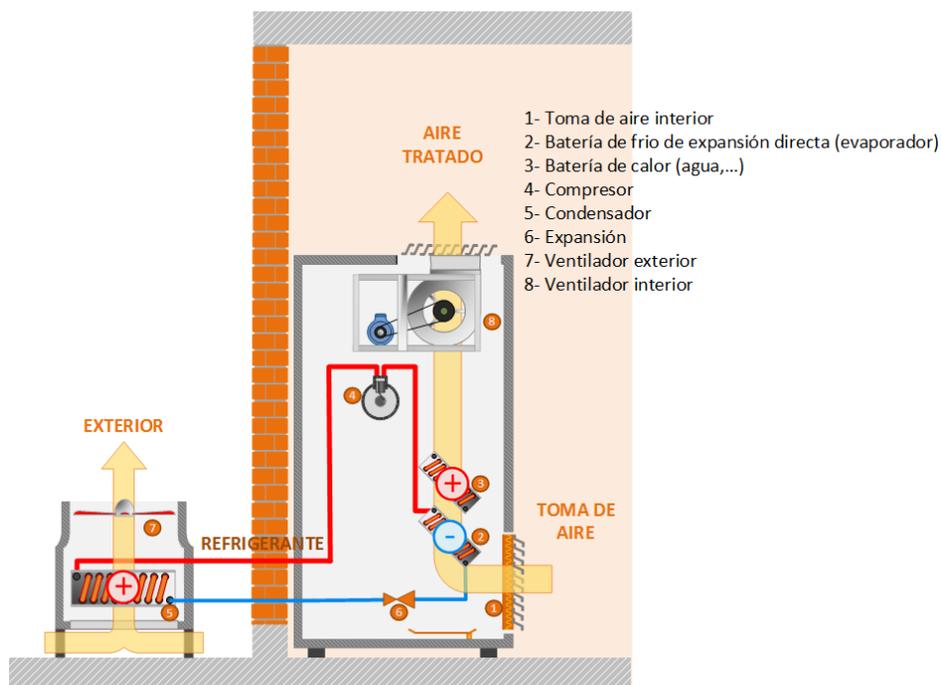
### 3.1.2.2.2.3.1 Condensador aire integrado en el equipo

En este caso, la unidad dispone de una salida y entrada del aire requerido para la condensación directamente conducida a través de ductos al exterior del local.

### Condensador de aire separado

El fluido frigorífico es directamente enfriado en el condensador que se encuentra en un equipo ubicado al exterior del local. La distancia de separación se encuentra limitada por el fabricante, ya que a mayor distancia más pérdidas de carga por lo tanto menos eficacia del sistema. Así mismo, el desnivel entre el condensador y compresor están sujetos a especificaciones del fabricante, ya que se debe favorecer el retorno de aceite al compresor.

Figura 40 Esquema de armario de climatización con condensador de aire separado



### Condensador de agua reciclada

En este caso, el condensador es enfriado por agua glicolada, que a su vez se encuentra enfriada por el aire exterior. Esta solución permite no disponer de limitaciones de distancia y desniveles, además de poder conectar varios armarios o equipos de climatización a la red de agua de enfriamiento llamada agua de condensación.

Esta tecnología a través del agua de condensación tiene tres posibles opciones de equipos para asegurar el intercambio térmico entre el agua y aire exterior:

### 3.1.2.2.2.3.2 Aero:

El agua es enfriada en un intercambiador de aire, donde la circulación del aire es asegurada por uno o varios ventiladores. La regulación más extendida es controlar el funcionamiento de los ventiladores en base a la temperatura del agua. Este tipo de sistema presenta una clara desventaja, ya que el armario de climatización dispondrá en ciertos momentos de una eficiencia baja, ya que la temperatura del agua se ve directamente por las condiciones de temperatura del aire exterior.

Figura 41 Esquema de armario de climatización con condensador de agua (aero)

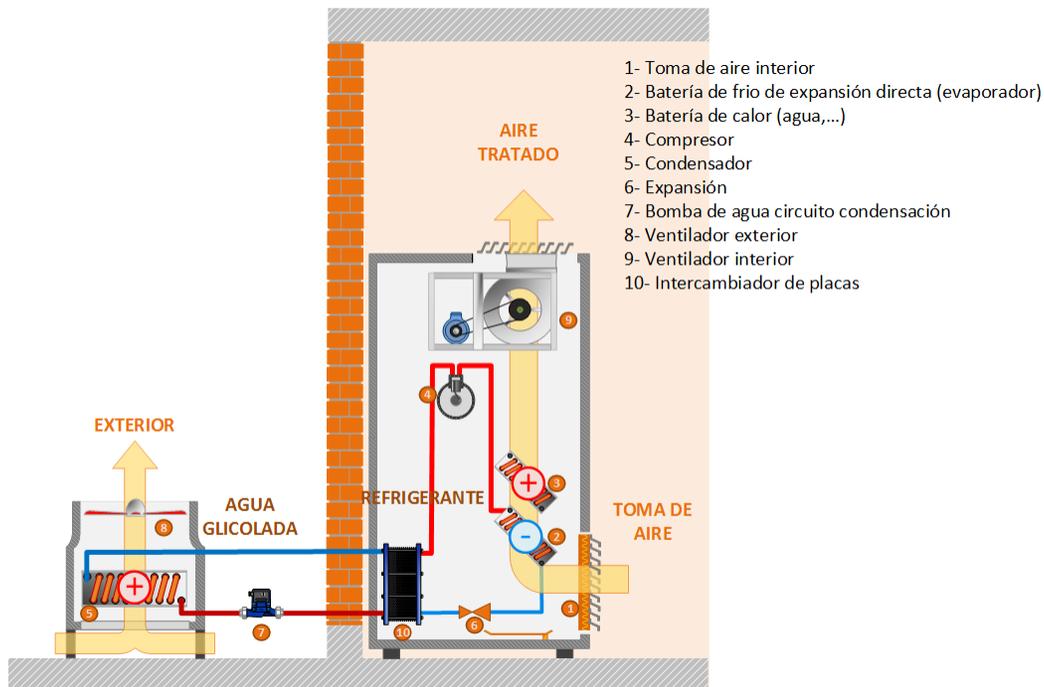


Figura 42 Aerorefrigerado marca TEVA modelo ADA



### 3.1.2.2.2.3.3 Torre de enfriamiento abierta:

En este caso, el agua del circuito de condensación es pulverizada a contra corriente al flujo de aire impulsado por los ventiladores. Este intercambio de calor es muy eficaz ya que parte del

agua es evaporada implicando un fuerte enfriamiento del fluido que se sitúa por debajo de la temperatura del aire exterior. Este fenómeno implica una mejora considerable frente al aseo ya que las condiciones de temperatura del agua de condensación son bajas y por lo tanto mejora el ciclo frigorífico del sistema. Sin embargo, también presenta desventajas como la pérdida de agua glicolada por su evaporación, problemas de corrosión y ensuciamiento del sistema.

Figura 43 Esquema de armario de climatización con torre de enfriamiento abierta

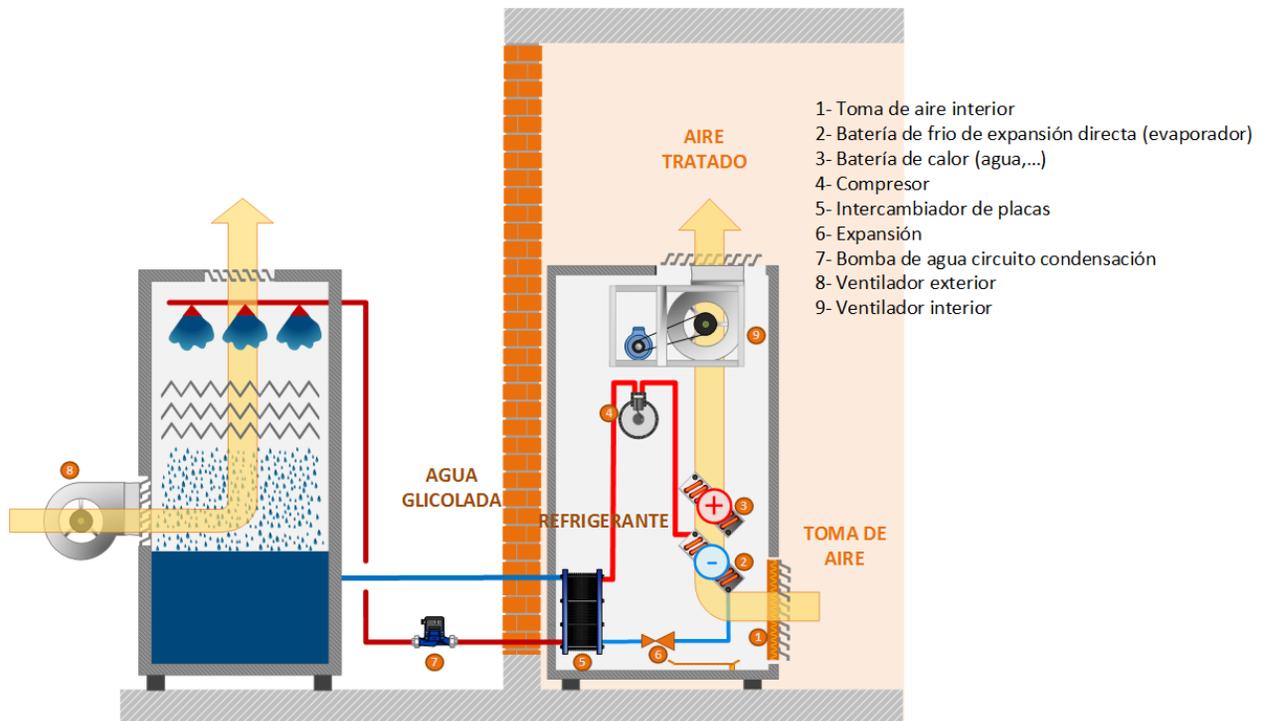


Figura 44 Torre abierta marca TEVA modelo TVAP



#### 3.1.2.2.2.3.4 Torre de enfriamiento cerrada:

Es un sistema similar al anterior, aportando las ventajas de la evaporación, pero evitando los inconvenientes de la corrosión y ensuciamiento. Su funcionamiento se basa en la circulación del agua de condensación por el interior de la torre, donde se pulveriza agua de un circuito independiente produciendo la evaporación y logrando un enfriamiento importante. La temperatura de salida de agua es ligeramente superior a la de una torre abierta.

Figura 45 Torre cerrada marca TEVA modelo RMA



#### 3.1.2.2.2.3.5 Condensador a agua perdida:

En este caso, el agua destinada a la condensación proviene de:

Agua de la red municipal: una vez que atraviesa el condensador se evacua al desagüe. Esta solución no es aconsejable y debe ser eliminada de las instalaciones, ya que genera un gasto económico importante.

Agua de pozos naturales, ríos entre otras: Es una solución interesante a nivel de costos operativos ya que el importe correspondiente al m<sup>3</sup> desaparece. Sin embargo, se debe solicitar en ciertas zonas permisos medio ambientales para visualizar la viabilidad de dicha solución.

#### 3.1.2.2.3 Regulación

La regulación de la temperatura del local puede realizarse a través de un simple regulador termostático.

### 3.1.2.3 Sistemas de refrigerante variable (VRV)

#### 3.1.2.3.1 Principio de funcionamiento

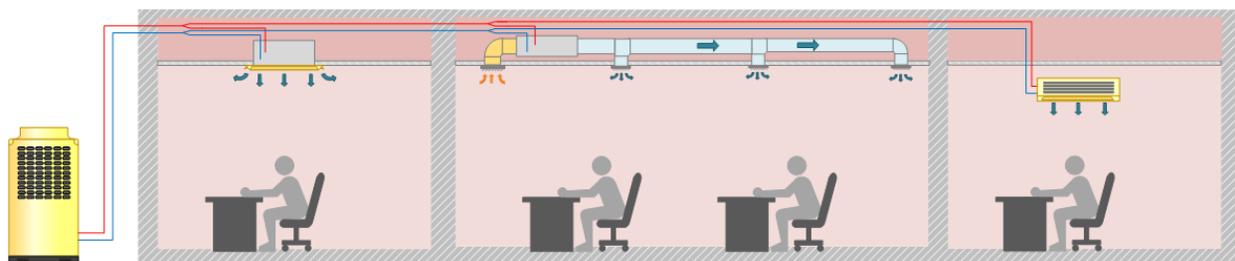
Un sistema VRV se basa en un sistema de expansión directa, donde el aire es enfriado directamente en cada local tratada a través de unidades interiores equipadas de batería de expansión directa, es decir donde el fluido que intercambia con el aire interior es un refrigerante. Al igual que para un sistema Split este equipo puede funcionar en modo calor si es reversible. Además de los dos modos de funcionamiento clásicos (solo frío o bomba de calor), se integra un funcionamiento donde se pueden combinar ambos suministros simultáneos. Por lo tanto, en este aparatado, trataremos cada uno de los funcionamientos de forma independiente, tal y como sigue:

- Funcionamiento solo frío
- Funcionamiento bomba de calor
- Funcionamiento simultáneo (recuperación)

##### 3.1.2.3.1.1 Funcionamiento solo frío

Una unidad exterior puede llegar a conectarse con 64 equipos interiores. Estas unidades exteriores tienen un rango de potencia que se sitúa de 12 kW hasta 150 kW. Cada unidad exterior dispone de un circuito frigorífico a dos tubos en este modo de funcionamiento, donde circula el fluido refrigerante en forma líquida y gas.

Figura 46 Esquema de un sistema VRV solo frío



##### 3.1.2.3.1.2 Funcionamiento reversible (frío o calor)

En este caso, como para los sistemas Split, el circuito frigorífico es reversible, permitiendo a las unidades interiores que su batería sea el condensador. Esta reversibilidad se lleva a cabo en la unidad exterior a través de una válvula de 4 vías ubicada tras el compresor.

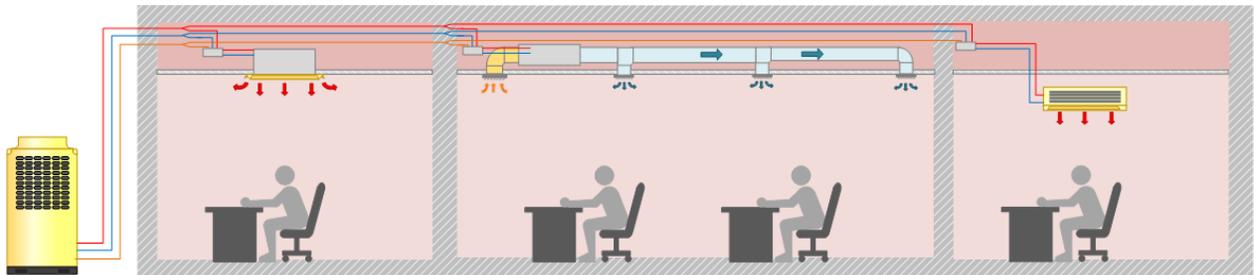
En este caso, el funcionamiento es todo frío o todo calor, no pudiendo producir de forma simultánea frío o calor. Al igual que para la instalación frigorífica en modo solo frío, la interconexión entre la unidad exterior y los equipos interiores, se realiza por medio de un circuito de tubos de cobre donde circula el fluido refrigerante en estado líquido y gas.

Por lo tanto, este sistemas se ajusta a edificios donde las necesidades térmicas son homogéneas y no existan demandas de frío y calor simultáneas (fachadas opuestas, data centers, etc....).

### 3.1.2.3.1.3 Funcionamiento simultáneo

Estos sistemas permiten un funcionamiento simultáneo de frío y calor. El sistema permite esa simultaneidad gracias a la integración en circuito frigorífico de recuperadores que además de permitir este modo de funcionamiento aporta un mínimo consumo energético. Este recuperador transfiere las energías caloríficas y frigoríficas a las unidades, evitando el arranque del compresor.

Figura 47 Esquema de un sistema VRV simultáneo (frío y calor)



### 3.1.2.3.1.4 Modulación de la potencia

Las unidades exteriores pueden albergar de 1 a varios compresores. Uno de ellos, pudiendo funcionar a cargas parciales a través de variadores de velocidad y el resto en un funcionamiento todo-Nada.

En el arranque de la unidad exterior, el compresor equipado del sistema de variación de velocidad será el encargado de otorgar la potencia, limitando el pico de potencia causado por los arranques, y posteriormente según la carga los compresores todo-nada entran en funcionamiento. El compresor equipado del variador es el que sufre más desgaste ya que siempre entra en funcionamiento para ajustar la carga de producción a la demanda. Hoy en día, algunos fabricantes, integran esta variación de velocidad a diversos compresores, para permitir permutar el funcionamiento y por lo tanto limitar el desgaste.

### 3.1.2.3.2 Tecnologías

#### 3.1.2.3.2.1 Unidades exteriores

Las unidades exteriores pueden ser instaladas en la cubierta, zona exterior o en locales correctamente ventiladas. Estas unidades son modulares y pueden ponerse lado con lado en base a la potencia a instalar.

**Figura 48** Unidad condensadora VRV Daikin



**Figura 49** Unidades condensadoras VRV marca Toshiba



Estas unidades deberán ser equipadas de un desagüe ya que en el momento del deshielo se evacua una gran cantidad de agua.

#### 3.1.2.3.2.2 Circuito de distribución del fluido frigorífico

El circuito frigorífico es de cobre de pequeño diámetro, lo cual permite un ahorro de espacio frente a instalaciones tradicionales de agua y aire.

Este tipo de circuito debe ser correctamente aislado térmicamente. Existen tuberías pre aisladas, lo que facilita en gran medida su montaje.

Las derivaciones de los circuitos se realizan mediante racores de tipo “Y” que normalmente facilita el fabricante al instalador. Se deben respetar una serie de criterios de montaje que el propio fabricante especifica con tal de evitar malos funcionamientos y posibles ruidos en la instalación.

**Figura 50 Accesorios cobre líneas VRV**



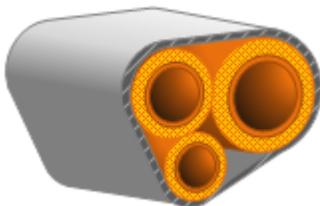
La configuración del circuito frigorífico puede ser bitubular o en estrella (tres tubos).

**Figura 51 Tubería a dos tubos**



Para las instalaciones de frío o tipo bomba de calor, se implantará un sistema a dos tubos. Una de las tuberías llevara el fluido refrigerante en estado líquido y la otra en estado gaseoso.

**Figura 52 Tubería a tres tubos**



Para las instalaciones de tres tubos o recuperación de energía, el circuito frigorífico se verá compuesto de tres tuberías de cobre. Estos tres tubos permiten vehicular el frío y calor requeridos en la instalación de forma simultánea. Un módulo de reparto es que asegura la selección del modo de funcionamiento a la entrada de cada zona tratada de la misma forma.

A título informativo, se adjuntan una serie de especificaciones del fabricante que deben ser respetadas:

- Distancia máxima entre unidad interior y exterior de 160 metros (considerando las longitudes equivalentes de los accesorios.)
- Un desnivel entre unidad exterior e interior comprendida en un rango de 50 a 90 metros, si la unidad interior se sitúa encima del equipo exterior en caso contrario debe ser inferior a 40 metros.
- Un desnivel máximo de 15 metros a 40 metros entre unidades interiores según los fabricantes.
- Una longitud total del circuito que no sobrepase los 1000 metros.

### 3.1.2.3.2.3 Unidades interiores

La unidad interior se encuentra equipada de una batería de fluido refrigerante, un ventilador centrífugo o tangencial que asegura la circulación del aire a través de la batería. Estos equipos pueden funcionar en modo frío, deshumidificación, calor, o simplemente en modo ventilación donde se recircula el aire del local.

Existen numerosas tipologías de unidades interiores que se ajustan a los requisitos técnicos y constructivos de cada zona.

**Figura 53 Gammas de equipos interiores VRV**



### 3.1.2.3.2.4 Cajas de reparto

Tal y como se mencionó anteriormente, las instalaciones previstas para un funcionamiento combinado, requieren de un sistema de distribución a tres tubos.

**Figura 54 Caja de reparto 3 tubos**



**Figura 55 Colector repartidor VRV**



La conexión entre la caja de reparto y la unidad exterior se efectúa en 3 tubos y la conexión de la caja a las unidades interiores en 2 tubos. Cuando varias unidades se conectan a una misma caja, se designa un equipo interior como el maestro para llevar a cabo el control del funcionamiento del sistema de la zona.

Este tipo de equipos generan ruido que pueden ser molesto, por lo que en algunos casos, el instalador los implanta en tableros que aíslan esa molestia.

### 3.1.2.3.2.5 Regulación:

#### 3.1.2.3.2.5.1 Solo frío:

La temperatura ambiente se mantiene por:

- Una regulación de velocidad del ventilador del evaporador
- Por un sistema de expansión electrónico que varía el caudal de refrigerante en base a la diferencia de temperatura entre la salida y entrada del refrigerante en el evaporador.

En la unidad exterior, se encuentran varios compresores equipados de variación de velocidad con un sistema de regulación invertir que varía la velocidad a través de la frecuencia de alimentación.

Una sonda ubicada tras el sistema de compresión mide la presión de descarga del compresor. Esta presión es mantenida constante modulando de la velocidad del compresor.

En el caso de que esta unidad disponga de varios compresores, según aumenta la carga arrancan los compresores en cascada. Estos suelen ser de funcionamiento Todo Nada, siendo uno de ellos que funciona a velocidad variable ajustando la producción a la carga.

#### 3.1.2.3.2.5.2 Frío o calor

En este caso, se trata de todo el sistema que funciona en modo solo frío o calor. Este cambio de regulación se realiza en la unidad exterior donde una válvula de 4 vías, invierte el ciclo termodinámico.

En este cambio de ciclos los evaporadores se transforman en condensadores y los condensadores en evaporadores.

En modo frío, la temperatura a la entrada del evaporador es igual a la temperatura de evaporación del refrigerante. La temperatura de salida es esa temperatura aumentada con el sobrecalentamiento, que suele situarse en un incremento de 6 a 7°C. La expansión, por lo tanto, será regulada para garantizar esa diferencia.

En modo calor, el refrigerante circula en sentido contrario. En este caso, la diferencia de temperatura medida por el regulador del sistema de expansión va a corresponder al su enfriamiento del condensador.

#### 3.1.2.3.2.5.3 Frío y calor simultáneo

En este tipo de regulación, el sistema permite un funcionamiento simultáneo de frío y calor. Su funcionamiento se basa en tres tuberías que parten de la unidad exterior:

- Una tubería con refrigerante en estado líquido
- Una tubería con refrigerante en estado vapor baja presión
- Una tubería con refrigerante en estado vapor alta temperatura.

Estas tres líneas alimentan diversas cajas de selección o módulos de reparto. Estos equipos disponen de la información del modo de funcionamiento solicitado por las unidades interiores de cada zona, que enviarán refrigerante en estado vapor de alta o baja presión.

En el esquema adjunto se representan a modo indicativo los principales componentes, aunque la instalación se completa con otros elementos que evitan contra sentidos.

Figura 56 Esquema sistema VRV regulación solo frío

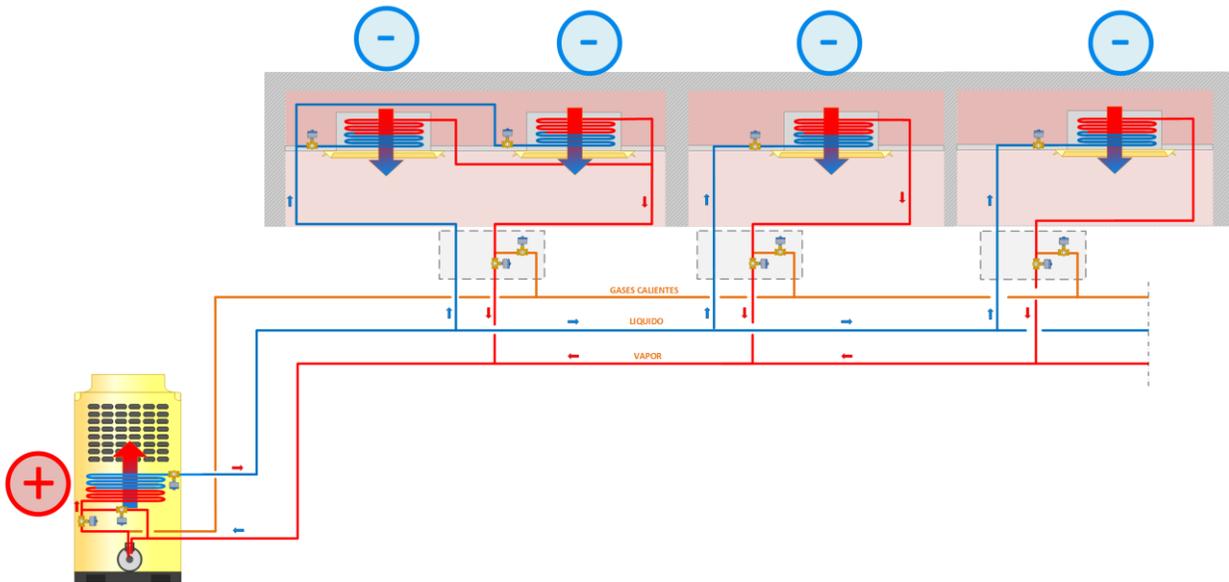


Figura 57 Esquema sistema VRV regulación simultánea mayoría frío

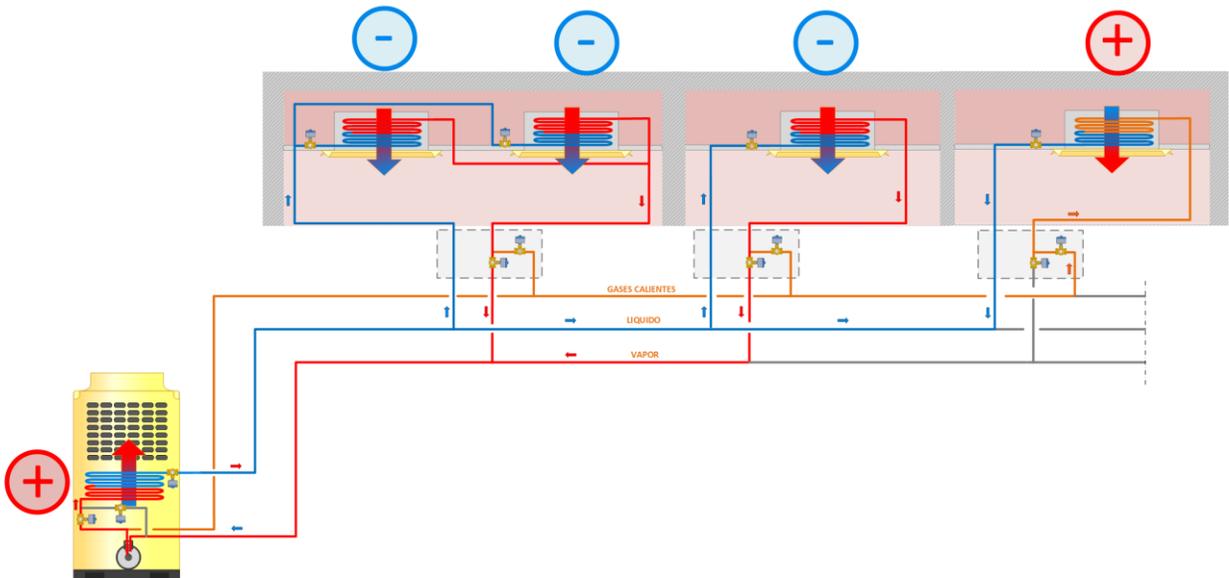


Figura 58 Esquema sistema VRV regulación simultánea equilibrada

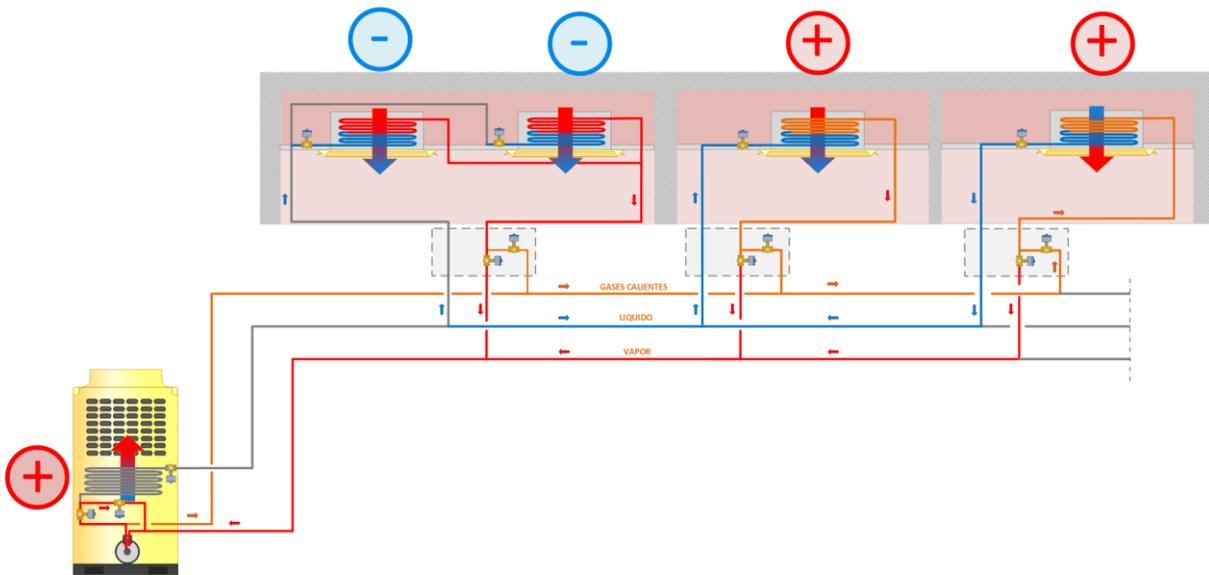


Figura 59 Esquema sistema VRV regulación simultánea mayoría calor

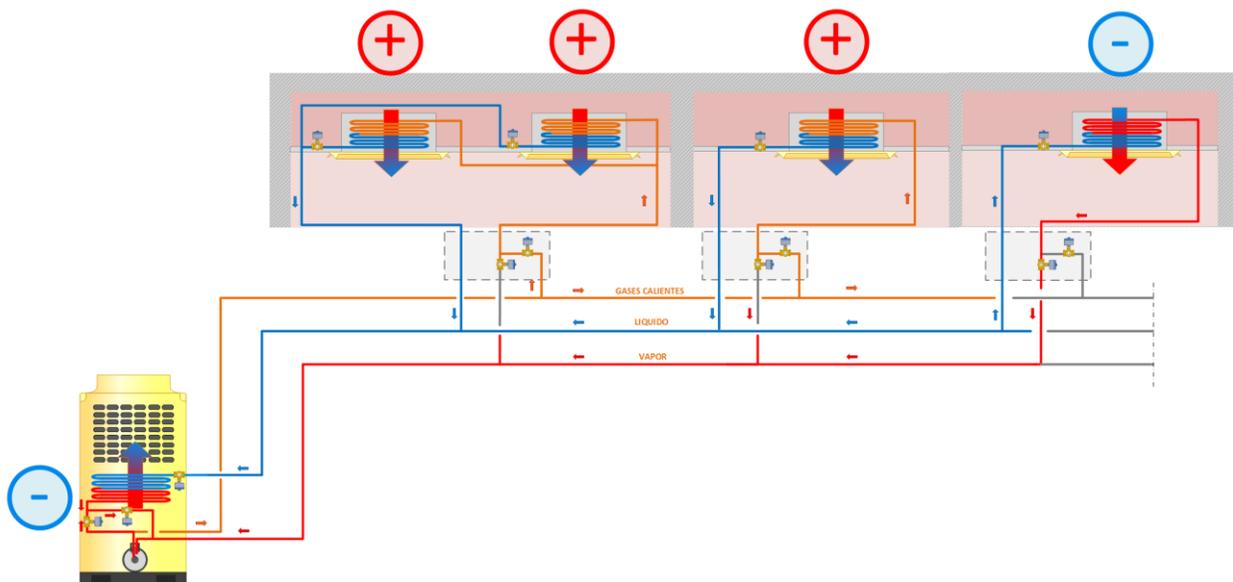
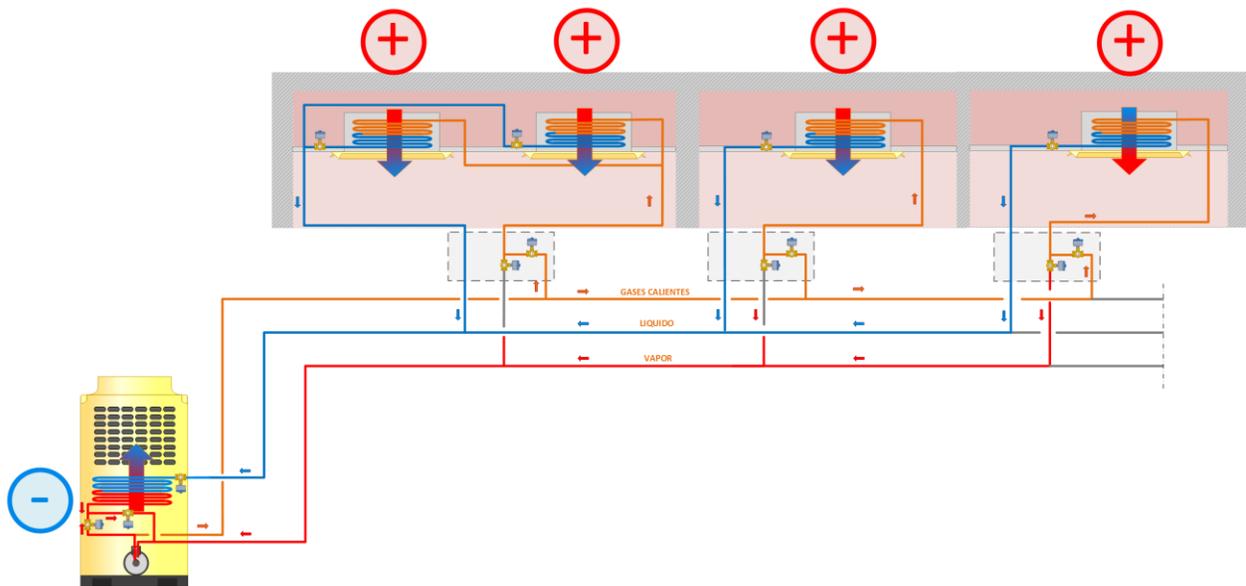


Figura 60 Esquema sistema VRV regulación solo calor



#### 3.1.2.3.2.5.4 Eficacia del sistema

Es de esperar que en un modo de funcionamiento en bomba de calor, el rendimiento obtenido, cuando la instalación funciona en calor, se vea altamente perjudicado cuando la temperatura exterior disminuye. Sin embargo, el periodo invernal no representa un perjuicio importante por el número de horas anuales que representa.

Los fabricantes confirman que a carga nominal se obtienen EER entre 3 y 4.3 y COP de 3.5 a 4.5, no diferenciándose de los equipos tradicionales. Sin embargo, su beneficio reside en las cargas parciales, donde los constructores manifiestan obtener al 50% de carga, EER de 7.36 y COP de 5.52.

### 3.1.3 Sistemas de aire

#### 3.1.3.1 Sistema todo aire a caudal constante y un circuito de ductos

##### 3.1.3.1.1 Principio de funcionamiento

Este tipo de sistema corresponde a una instalación donde el aire introducido al local, se encuentra tratado (calentado, enfriado, humidificado...) a través de unidades Manejadoras de Aire (UMA) y transferido al local a través de una red de ductos.

**Figura 61** Manejadora de aire TECNIVEL modelo ortopac



Estos sistemas constituyen un ramo importante del acondicionamiento de aire.

- Sistemas a caudal constante
  - o Mono ducto
    - Unizona
    - Multizona
  - o Doble ducto
    - Baja presión
    - Alta presión
- Sistemas a caudal variable
  - o Con calefacción por radiadores independientes
  - o Con calefacción por baterías de agua caliente
  - o Definiciones

#### 3.1.3.1.1.1 **Todo aire**

En este caso, el aire es el fluido calo portador de calor, frío o humedad.

#### 3.1.3.1.1.2 **Caudal constante**

El caudal de aire es constante y entregado por un ventilador. En este caso, la regulación del sistema se realiza actuando sobre la temperatura del aire y la tasa de humedad.

#### 3.1.3.1.1.4 Mono ducto o doble ducto

En el sistema mono ducto, un solo circuito de ductos existe y por lo tanto un solo nivel de temperatura de aire está disponible en el sistema. En un sistema de doble ducto, existen dos niveles de temperatura (frío y calor).

#### 3.1.3.1.1.5 Uni zona o multi zona:

En el caso de la uni zona, existe únicamente una sola zona climatizada. En el caso de las multi zonas, existen varias zonas, donde se requieren condiciones diferentes.

#### 3.1.3.1.1.6 Baja presión o alta presión

Se trata de la presión del aire entregada por el equipo de ventilación de la UMA. En el caso de que la presión sea inferior a 800 Pa (80 mmca.), nos situamos en baja presión, situando el aire en velocidades de 2 a 7 m/s. Cuando las velocidades se sitúan en 12 a 16 m/s, nos encontramos en presencia de una instalación de alta presión, implicando un mayor consumo eléctrico de los ventiladores.

#### 3.1.3.1.2 Aplicaciones

El sistema Todo aire tiene su interés cuando el caudal de aire es elevado y constante, como en salas de espectáculos, salas de conferencia, entre otros.

El sistema todo aire unizona tiene su interés cuando:

- Un solo local de gran volumen debe ser climatizado
- Existen varios locales cuya demanda térmica es similar y cuando las condiciones interiores solicitadas no son de gran importancia.
- Como sistema de tratamiento primario donde se mantienen unas condiciones base y existen instalaciones de apoyo que se encargan de garantizar las condiciones finales.

#### 3.1.3.1.3 Detalles tecnológicos de las UMAS

En este apartado, mencionaremos las secciones de tratamiento de aire más comunes:

- Sección de calor
- Sección de frío
- Sección de humidificación

#### 3.1.3.1.3.1 Sección de calor

Esta sección puede ser garantizada por:

- Una batería de calor eléctrica
- Una batería de agua proveniente de un sistema de producción (boilers, bomba de calor, etc...)

#### 3.1.3.1.3.2 Sección de frío

Esta sección es garantizada por:

- Batería de evaporación de expansión directa de un sistema de producción de frío
- Batería de agua helada preparada por un chiller

#### 3.1.3.1.3.3 Sección de humectación

En el caso de que se requiera de un control de humedad del aire, existen varias tecnologías disponibles para ese fin:

- Humectación por panel, la cual se basa en la absorción de humedad por parte del aire a través de un panel de fibra de vidrio o celulosa húmeda.
- Humectación mediante boquillas a alta presión, donde se pulveriza agua en el aire mediante boquillas.
- Humectación por lanza de vapor, en la que se obtiene la humedad deseada a través de la inyección de vapor al aire. Este vapor puede provenir de un equipo autónomo o red de vapor.

#### 3.1.3.1.3.4 Sección de ventilación

Los ventiladores son componente indispensable en el funcionamiento de una unidad manejadora de aire, y representan uno de los consumos energéticos de estos equipos. Existen diversas tipologías de equipos de ventilación que vienen detalladas a continuación:

- Equipos con alabes de acción curvados hacia delante. Estos equipos disponen de un rendimiento estático del 56%.
- Equipos con alabes a reacción curvados hacia atrás que disponen de un rendimiento del 74%.
- Equipos sin envolvente espiral donde su rendimiento es del 70%.
- Equipos con alabes a reacción hacia atrás tipo airfoil, donde el rendimiento se sitúa en el 78%.

El rendimiento de estos equipos de ventilación dependerá de otros parámetros tales como el tamaño, el tipo de transmisión entre el motor y el ventilador.

#### **3.1.3.1.4 Sección de recuperación de energía**

La recuperación de energía sobre el aire retirado del local debe ser como mínimo de 0.5 m<sup>3</sup>/s.:

Estos sistemas de recuperación siempre se basan en la recuperación del aire extraído y el aire de ventilación de la zona. Por ello, se debe realizar siempre antes del cajón de mezcla.

Existen diversas tecnologías de recuperación de las cuales podemos distinguir:

- Baterías de recuperación: Este sistema logra una recuperación no mayor al 35%.
- Recuperadores de placas: en este caso se logra recuperar la energía sensible del aire extraído, obteniendo rendimientos térmicos que pueden llegar hasta el 50%
- Recuperadores rotativos: son equipos en forma de rueda que permiten transferir parte de la energía del aire extraído al aire entrante. Existen de tipo sensible donde la recuperación se basa en un aprovechamiento de la energía sensible y entálpica, en los cuales se recupera parte de la energía sensible como latente. Estos equipos logran rendimientos de hasta el 70%.

##### **3.1.3.1.4.1 Sección de mezcla**

La sección de mezcla corresponde a una caja, ubicada en la aspiración de la UMA, tras el ventilador de retorno. Su función reside en introducir aire exterior para garantizar las condiciones de ventilación requeridas y la misma cantidad de aire del local para mantener unas condiciones interiores de presión equilibradas.

Para ello, el modulo o sección de mezcla se compone de dos o tres compuertas de aire motorizadas que permiten el ajuste del aire de retorno, toma de aire exterior y de expulsión, en los porcentajes deseados.

Este tipo de sección asegura la renovación del aire requerido para garantizar unas condiciones mínimas de ventilación. La regulación de este tipo de sistema puede ser en base a:

- Calidad de aire a través de una sonda de CO<sub>2</sub> que actúa sobre las compuertas para garantizar una calidad deseada.
- A la temperatura del local abriendo la compuerta de toma de aire exterior siempre y cuando las condiciones lo permitan, limitando el consumo de energía de los equipos productores de frío y/o calor. Siempre respetando un mínimo de aire exterior introducido.

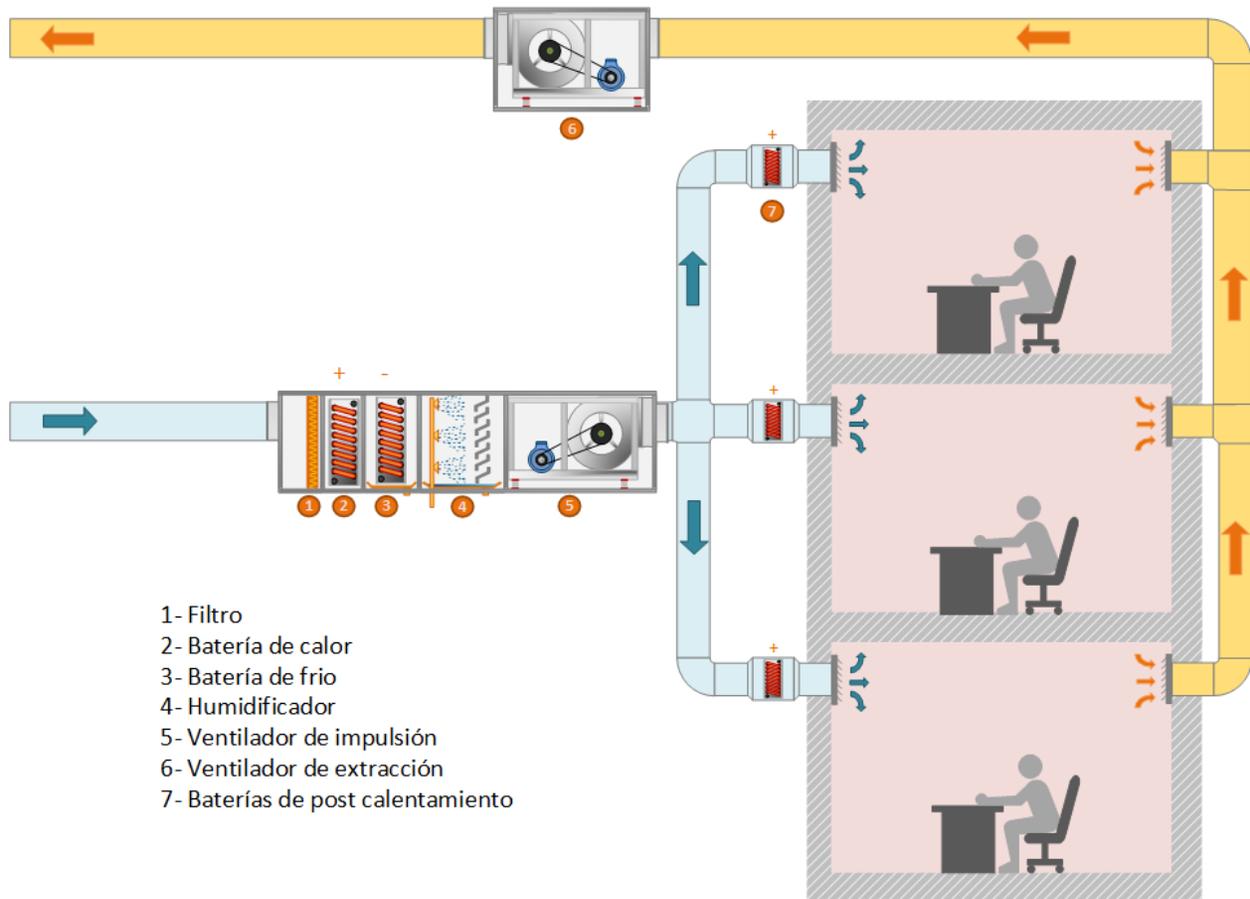
#### **3.1.3.1.5 Tecnologías asociadas**

##### **3.1.3.1.5.1 Sistema con baterías terminales de apoyo**

Este sistema suele ser empleado cuando existen diversas zonas con diferentes necesidades térmicas. Se basa en la incorporación de baterías terminales en la entrada de cada zona para que se logren las condiciones deseadas.

En la mayoría de las ocasiones se realiza este tipo de apoyo con equipos terminales de batería de agua caliente o eléctrica. Se suele utilizar solo para demandas de calor, aunque en ciertas ocasiones se disponen equipos de agua helada.

Figura 62 Esquema aire con baterías terminales de apoyo

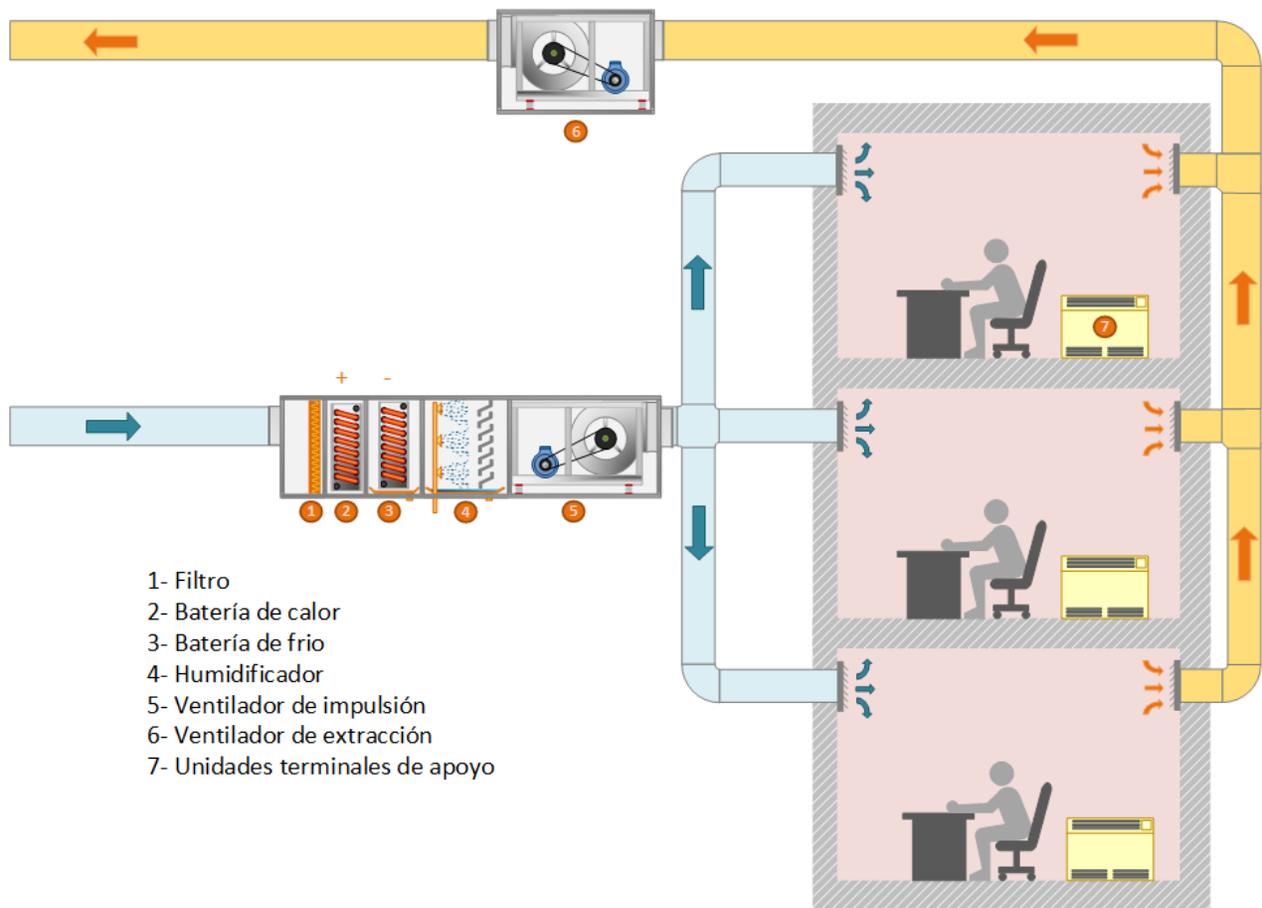


### 3.1.3.1.5.2 Sistema con equipos terminales de apoyo

Existe la posibilidad de garantizar unas condiciones mínimas de tratamiento de aire a través del sistema de la unidad manejador de aire y en las zonas internas ubicar equipos terminales para la obtención de los valores de consigna deseados.

En este sistema, se debe tener en cuenta que la UMA deberá entregar unas condiciones mínimas basadas en la zona con menos demandas energéticas, para no entrar en conflictos entre sistemas.

Figura 63 Esquema aire con unidades terminales de apoyo

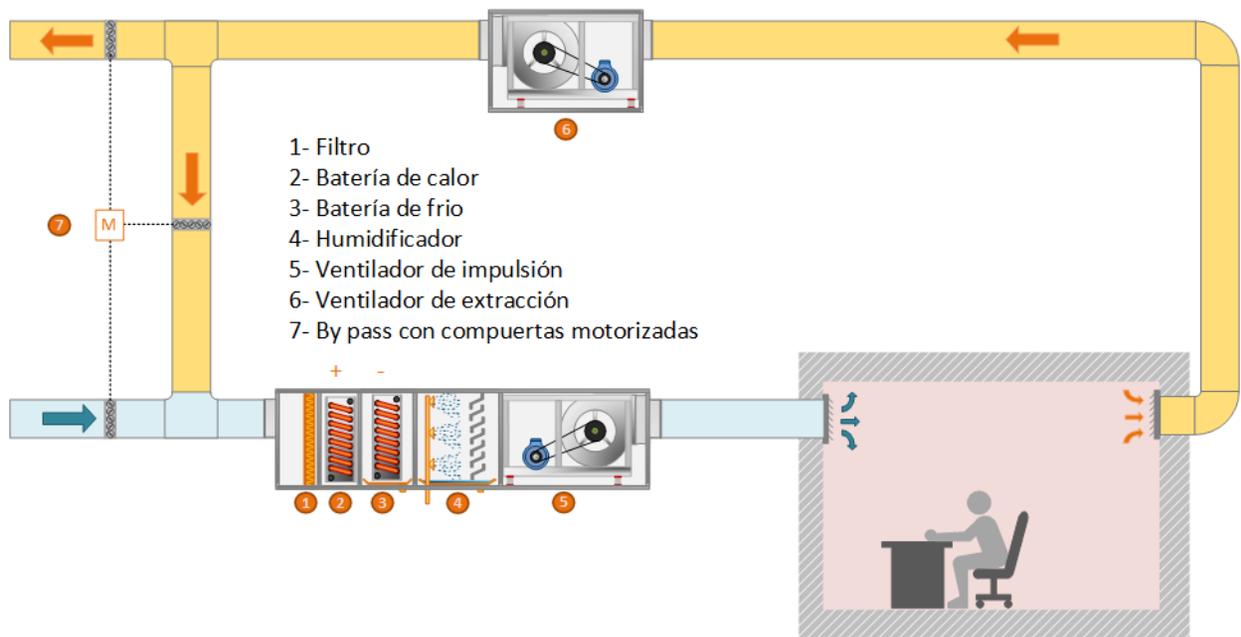


### 3.1.3.1.5.3 Sistema con recirculación parcial de aire

En este caso, se retorna parte del caudal de aire a la unidad de tratamiento de aire, con objeto de minimizar las pérdidas energéticas del sistema. Una parte de aire exterior será introducido con el fin de garantizar los caudales mínimos de ventilación.

Para ello, se incorporará en la UMA la caja de mezclas detallada en el anterior capítulo.

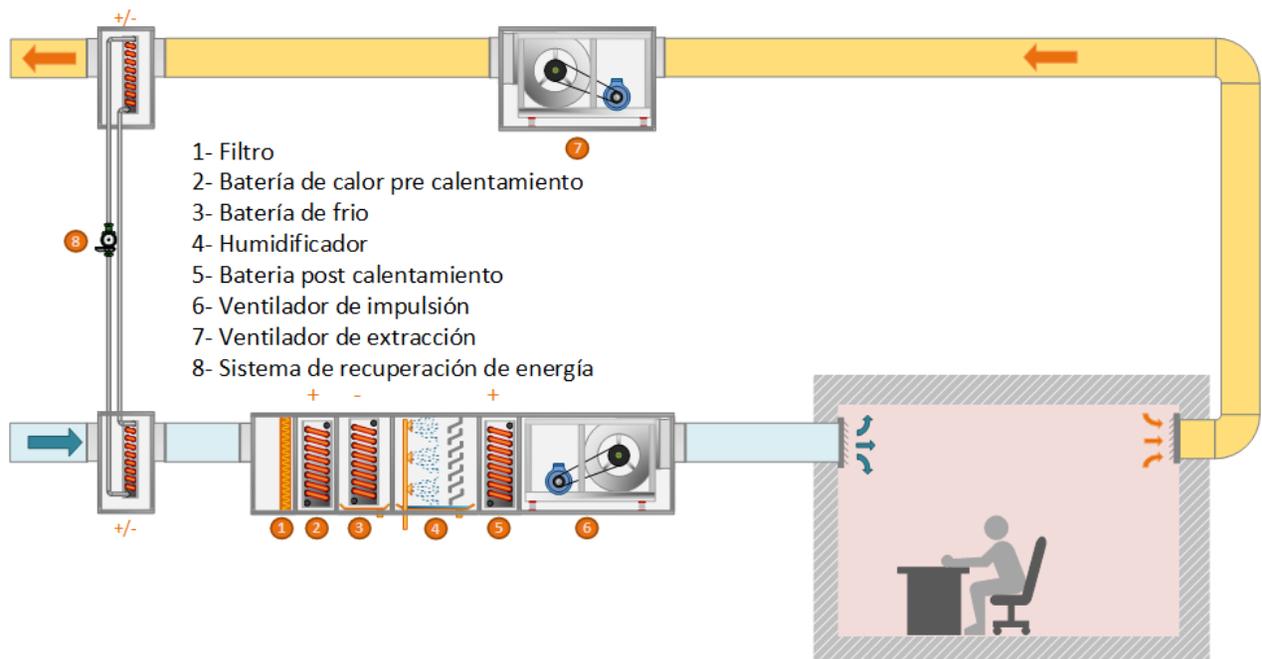
Figura 64 Esquema aire con recirculación parcial de aire



### 3.1.3.1.5.4 Sistema con recuperación de energía

Para poder recuperar parte de la energía del aire extraído, se puede incorporar los sistemas de recuperación de energía entre el aire saliente y entrante.

Figura 65 Esquema aire con recuperación de energía



#### **3.1.3.1.5.5 Sistema de alta presión**

Para reducir los costos de instalación y espacio de los ductos, se puede realizar la instalación de distribución de aire a alta velocidad, limitando las secciones de los ductos.

La presión del ventilador suele situarse generalmente por encima de los 1000 Pa y la velocidad del aire en el interior de los ductos por encima de los 10 m/s.

Este tipo de solución genera pérdidas de carga debido al rozamiento del aire en los ductos importantes, lo que implica un consumo elevado de los equipos de ventilación.

Una vez el aire conducido a la zona de tratamiento de aire, es introducido en cajones de expansión donde se obtiene una distribución a baja velocidad con niveles sonoros más reducidos.

Estas cajas suelen estar aisladas acústicamente y garantizan un caudal constante a través de un regulador.

#### **3.1.3.1.5.6 Multitud de combinaciones**

Tal y como se ha podido visualizar en los anteriores capítulos, las UMAS permiten una multitud de variantes que pueden ser combinadas hasta obtener las condiciones deseadas y con las tecnologías más ajustadas a la tipología de la construcción.

#### **3.1.3.1.6 Ventajas e inconvenientes**

Las principales ventajas de este tipo de sistemas son

- Simplicidad del sistema
- Facilidad de dimensionamiento
- Regulación y control de la instalación simple y mantenimiento reducido
- Nivel sonoro reducido
- Se puede incorporar en el sistema, free-cooling
- Control de la calidad de aire tanto a nivel de filtración como de humedad

Sin embargo también ofrece numerosos inconvenientes de los cuales se destacan:

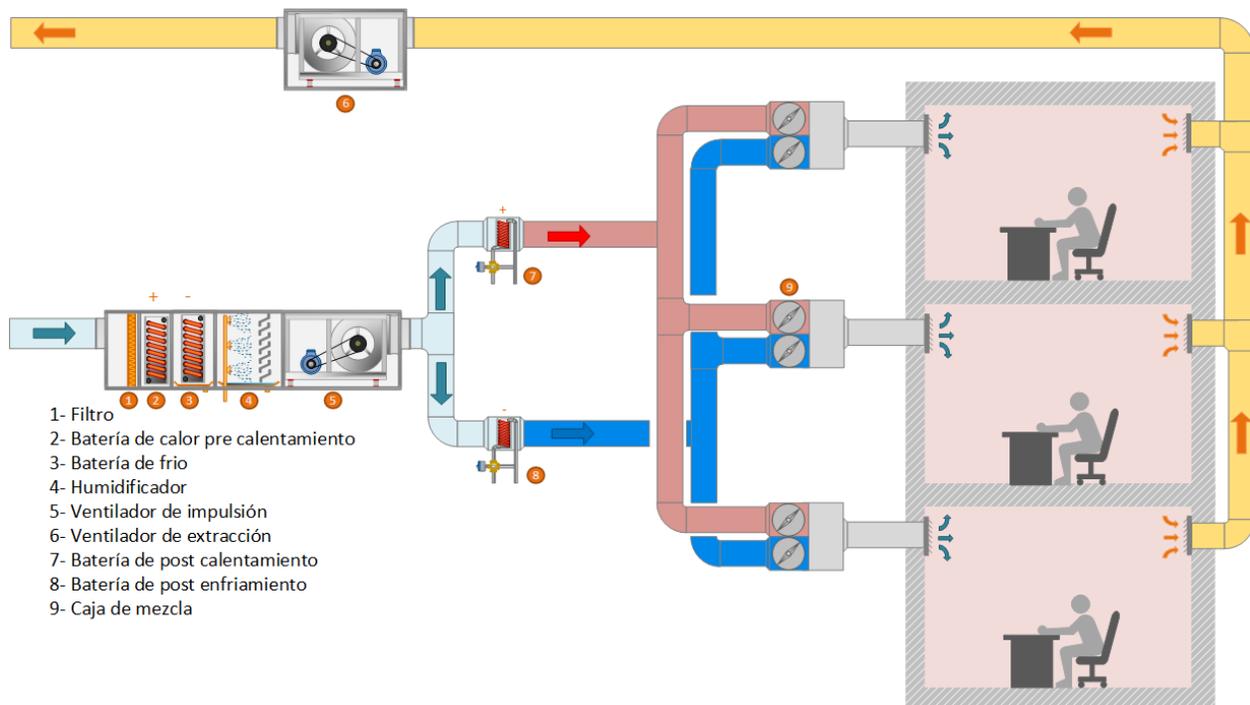
- El caudal de aire es constante y se encuentra dimensionado para las necesidades máximas. Esto puede generar consumos debido a los equipos ventiladores altos.
- Consumo del equipo de ventilación elevado y más si la instalación ha sido diseñada para alta presión.
- Se trata de una instalación voluminosa tanto a nivel de los propios equipos UMA como de redes de ductos.

### 3.1.3.2 Sistema todo aire a caudal constante y un circuito doble de ductos

#### 3.1.3.2.1 Principio de funcionamiento

Este sistema es similar al anterior, caracterizándose por el manejo de dos niveles de temperatura, que son preparados en las UMAS y distribuidos con ductos bien diferenciados.

Figura 66 Esquema UMA todo aire a caudal constante y doble circuito de ductos



#### 3.1.3.2.2 Detalles tecnológicos

El aire es acondicionado en el interior de la UMA, a través de las secciones:

- Mezcla donde se aporta el aire de ventilación.
- Filtración en la cual se garantiza la calidad del aire
- Precalentamiento: en ciertos casos se precalienta el aire hasta un cierto grado de temperatura, para evitar el congelamiento del aire.

Posteriormente, ese aire es conducido a dos cajas bien diferenciadas donde normalmente se aporta:

- Caja 1 :
  - Sistema de calentamiento bien sea eléctrico o de agua
  - Sistema de humectación

- Caja 2:
  - Sistema de enfriamiento a través de una batería de expansión directa o de agua helada.

Las cajas suelen estar aisladas acústicamente y térmicamente (25 mm de espesor) y disponen en ambas caras de chapa laminada de acero galvanizado.

La distribución del aire se realiza por medio de dos ductos bien diferenciados conectados a las dos cajas. En las zonas a climatizar, esos dos ductos son conectados a un cajón mezclador terminal, donde en base a las necesidades se regula la temperatura del aire.

### 3.1.3.2.3 Variantes tecnológicas:

Al igual que para el sistema mono ducto, se pueden realizar multitud de variantes al sistema básico, como por ejemplo:

- Red en alta presión
- Reciclado parcial del aire
- Recuperación de la energía del aire extraído
- Todas las combinaciones posibles

Figura 67 Esquema UMA todo aire a caudal constante y doble circuito de ductos recirculación parcial

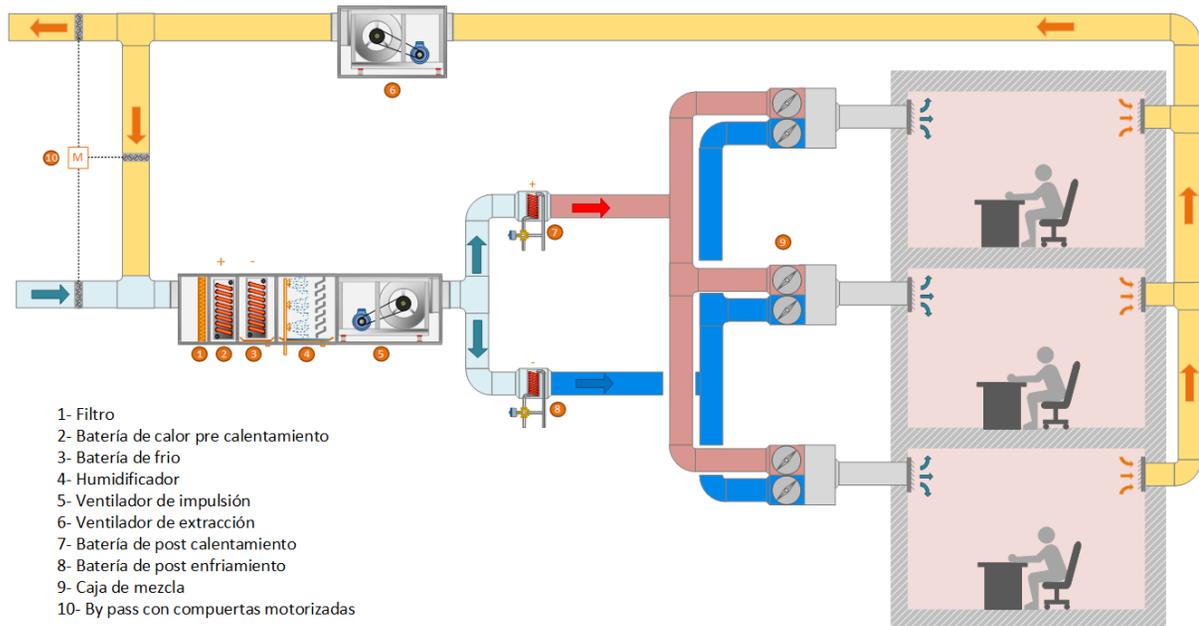
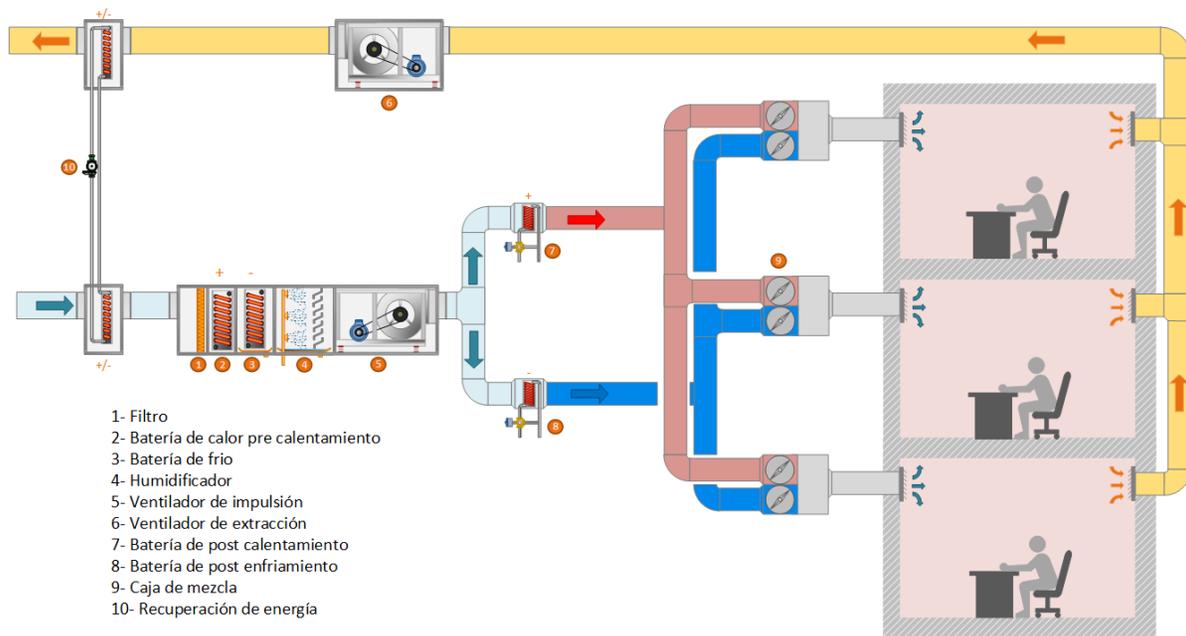


Figura 68 Esquema UMA todo aire a caudal constante y doble circuito de ductos recuperación de energía



### 3.1.3.2.4 Ventajas e inconvenientes

Destacamos como ventajas de este tipo de sistema, lo siguiente:

- Ajuste individual de las condiciones de cada zona
- Rapidez en la regulación
- Posibilidad de uso del aire exterior para enfriamiento gratuito (free cooling)
- Control de la humedad y filtración del aire.

Como principales inconvenientes, anotamos lo siguiente:

- El caudal de aire es constante y de igual forma que para el sistema monoducto se encuentra dimensionado para las condiciones extremas de necesidades.
- Se trata de equipos e instalaciones voluminosas que requieren de mucho espacio tanto en las salas de máquinas como en los techos de las zonas.
- El consumo de los equipos de ventilación es relativamente importante y más cuando se trata de un sistema de alta presión.

### 3.1.3.3 Sistema todo aire a caudal variable

#### 3.1.3.3.1 Principio de funcionamiento

Este sistema se basa en mantener las condiciones de temperatura de impulsión del aire en base a las épocas del año, fluctuando el flujo de aire impulsado. Este sistema se denomina VAV

(“Volume air variable”). El mínimo de flujo de aire corresponde al caudal mínimo de renovación requerido para garantizar las condiciones de ventilación. (Situándose en un rango de fluctuación de caudal de 30% a 100%.

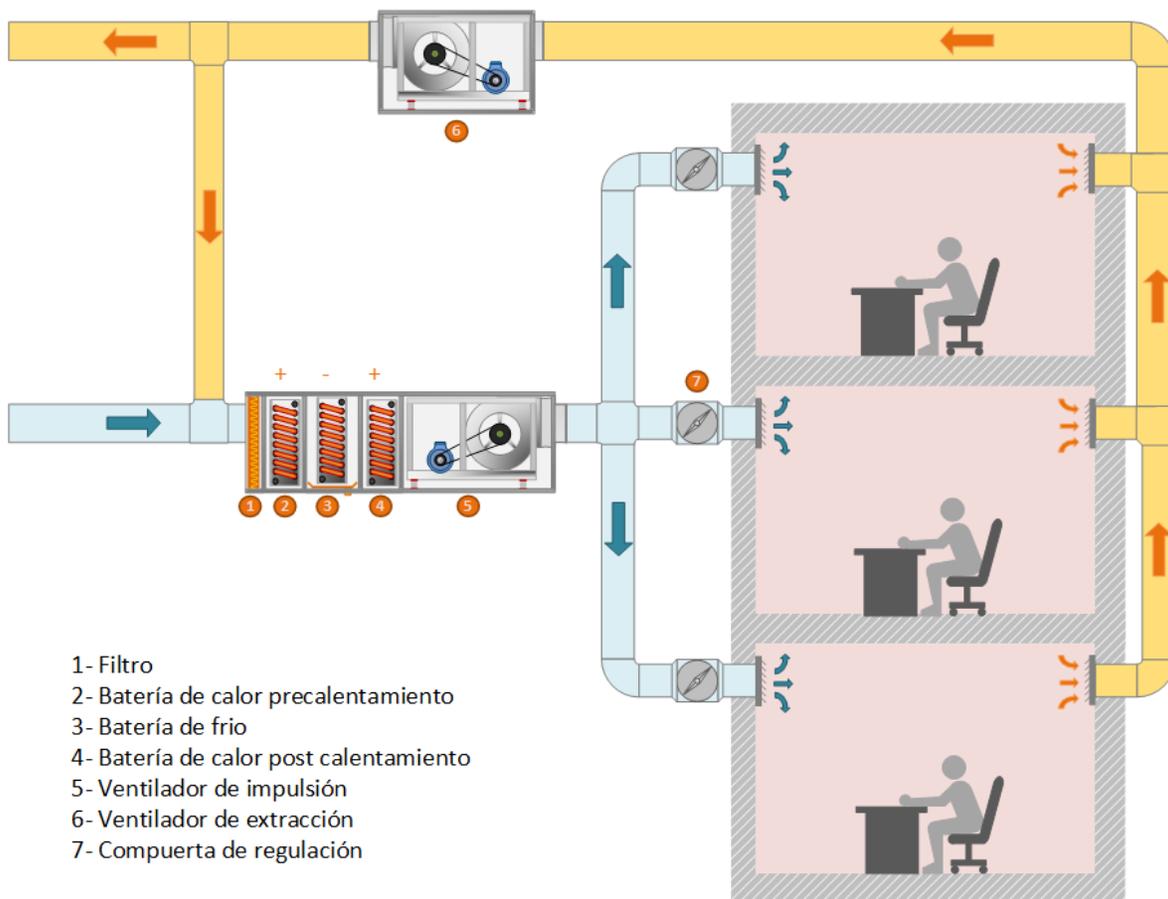
Esta modulación de caudal es provocada por el cierre de los registros de aire de ciertas zonas controlados por termostatos, que en base a las condiciones interiores regulan el caudal de aire entrante. Este cierre de compuertas implica un aumento de la presión en los ductos de aire donde un variador de frecuencia implantado en el ventilador de la UMA se encarga de mantener la presión constante.

Para el ajuste final de las zonas este sistema suele ser combinando con equipos de apoyo terminales tales como fan&coils o radiadores para el invierno.

El interés de este tipo de sistema reside en:

- Reducción del consumo eléctrico ligado al transporte del aire.
- Mejora ambiental de las condiciones interiores por el ajuste de la potencia introducida a las condiciones reales demandadas.

Figura 69 Esquema todo aire a caudal variable



### 3.1.3.3.2 Aplicaciones

Este tipo de sistema requiere de grandes ductos de distribución ya que deben ser dimensionados para cubrir las necesidades térmicas del edificio. Por lo tanto, es un sistema adecuado para edificios donde se requiera de un gran volumen de aire de renovación para garantizar unas condiciones higiénicas de aire y por lo tanto donde se encuentren numerosos usuarios.

Este sistema permite regular las condiciones ambientales de cada zona de forma individual, implicando su uso en oficinas, salas de espectáculos o cine, entre otras.

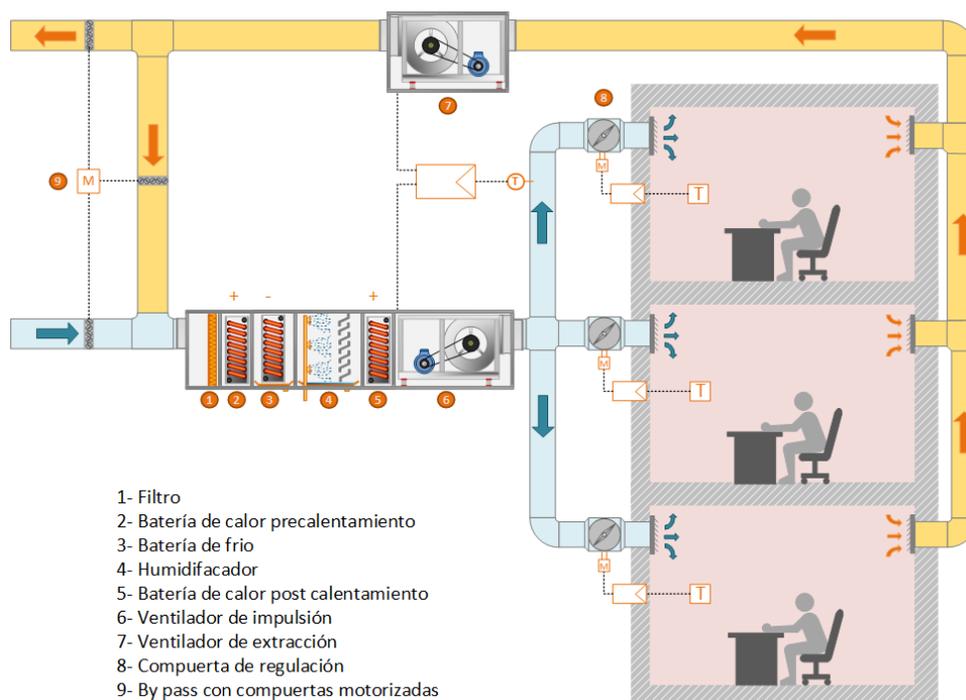
### 3.1.3.3.3 Diferentes tecnologías

Como para los anteriores sistemas de aire, este tipo de instalación dispone de numerosas variantes, cuyas más importantes son:

#### 3.1.3.3.3.1 Sistema VAV monoducto sin equipos terminales

En este caso se impulsa el aire a unas condiciones determinadas, bien diferenciadas según las épocas del año. El aire es condicionado en la Unidad manejadora y cada local o zona regula las condiciones en base al cierre o apertura de registros de aire.

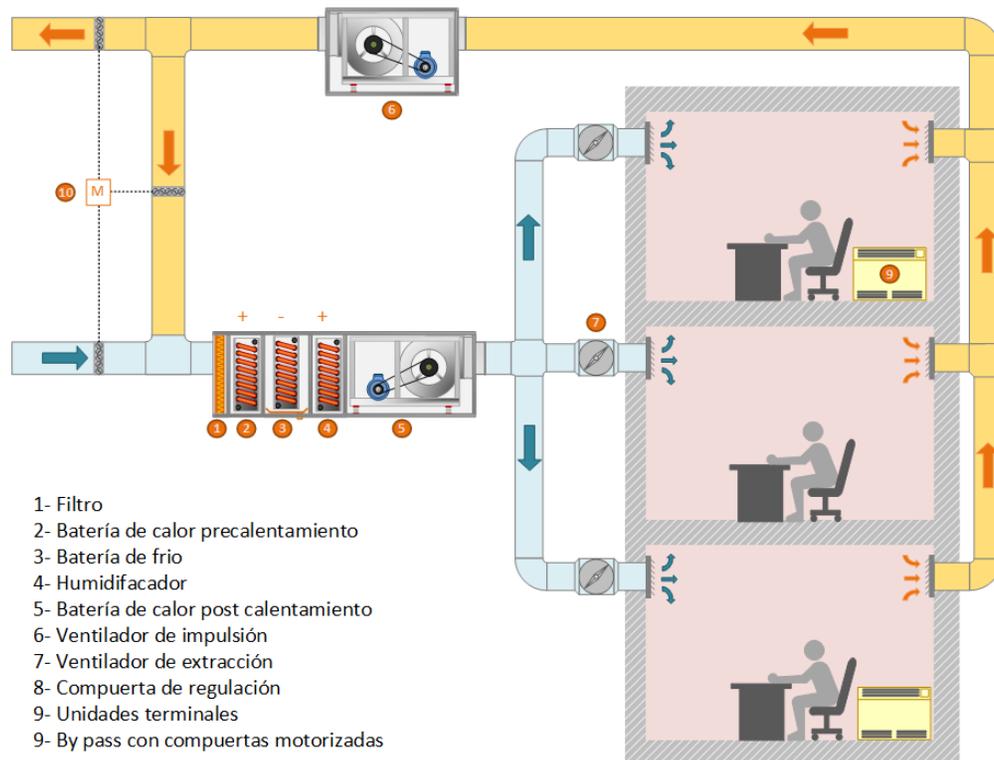
Figura 70 Esquema todo aire a caudal variable con by pass



### 3.1.3.3.2 Sistema VAV monoducto con equipos terminales

En este caso, se mantiene unas condiciones de temperatura fijadas de impulsión como en el anterior sistema pero entregando menor potencia (pre-acondicionamiento), e incorporando equipos terminales por zonas para disponer de las condiciones idóneas. La ventaja reside en menores tamaños de instalaciones (ductos, manejadoras) y por lo tanto mayor espacio.

Figura 71 Esquema todo aire a caudal variable con by pass y unidades terminales



### 3.1.3.3.4 Ventajas e inconvenientes

Como principales ventajas podemos distinguir:

- En el momento del diseño de las instalaciones, el sistema de volumen de aire variable permite disminuir las dimensiones de los equipos de tratamiento de aire, implicando por lo tanto un menor costo de inversión.
- La variación del caudal en base a las condiciones y demandas térmicas solicitadas reducen considerablemente el consumo de los equipos de ventilación de las UMAS.
- El reducir el caudal y por lo tanto la velocidad de aire dentro de los ductos, ofrece la reducción del ruido generado por las instalaciones.
- Se puede beneficiar de un enfriamiento gratuito frente a instalaciones de aire acondicionado de agua o refrigerante.

En cuanto a los inconvenientes, podemos destacar lo siguiente:

- La regulación de las condiciones interiores fluctuando el flujo de aire es menos precisa que la de modificarlas temperaturas de impulsión de aire.
- El costo de la instalación resulta más oneroso que los sistemas de agua o refrigerante.
- El volumen de las instalaciones es relativamente importante frente a sistemas tradiciones.

### 3.1.4 Sistemas de agua

#### 3.1.4.1 Fan&coil

##### 3.1.4.1.1 Principio de funcionamiento

El fan&coil corresponde a un equipo de emisión de energía térmica con funcionamiento a través de agua helada o caliente. En vista del bajo salto térmico entre la entrada y salida del agua en el equipo, estos fan&coils se encuentran equipados de ventiladores que favorecen el intercambio de energía y permiten su difusión en el ambiente.

Estos fan&coils disponen de:

- Toma de aire del local
- Filtro
- Uno o varios ventiladores
- Una o dos baterías de intercambio alimentadas por agua helada o caliente
- Una bandeja de recogida de condensados
- Un carenado

Figura 72 Fan&coil de suelo marca CARRIER modelo 42V con carenado



Figura 73 Fan&coil de suelo marca CARRIER modelo 42V sin carenado



### 3.1.4.1.2 Tipos de fan&coils

Se pueden clasificar estos equipos en cuatro grandes categorías:

- A dos tubos: Estos equipos se encuentran equipados de una simple batería, abastecida de forma alterna o bien por agua helada o bien por agua caliente. Existe una pérdida de energía en el caso que la zona neutra sea demasiado débil, implicando mezcla de agua fría con caliente.
- A cuatro tubos: en este caso se disponen de dos baterías, una para el agua helada y otra abastecida por agua caliente. La batería de frío suele ser de mayor tamaño ya que su salto térmico es menor, implicando la necesidad de una mayor superficie de intercambio.
- A dos tubos y dos hilos: Para limitar el costo de la instalación se considera una batería de agua helada y un sistema de calor eléctrico. Sin embargo se debe tener en cuenta que en este caso el costo de la energía calorífica es elevado.
- A dos tubos reversibles y 2 hilos: En este caso se dispone de una batería que puede funcionar de forma alterna con agua helada o caliente, disponiendo de la resistencia eléctrica para temporadas intermedias donde ciertas zonas requieren de frío y otras de calor.

A continuación se muestran los fan&coils más comunes:

**Figura 74 Fan&coil cuatro vías  
Carrier 42GW**



**Figura 75 Fan&coil de suelo  
CARRIER 42N**



**Figura 76 Fan&coil de falso techo  
CARRIER 42DW**



**Figura 77 Fan&coil de conductos CARRIER 42VP**



**Figura 78 Fan&coil de pared CARRIER 42WH**



### 3.1.4.1.3 Detalles tecnológicos

A título indicativo se mencionan una serie de detalles de los principales componentes:

- **Válvula:** Las baterías de intercambio agua-aire se encuentran aislada hidráulicamente a través de válvulas de corte ubicadas en sus respectivas conexiones (entrada y salida). Por otra parte, estos equipos disponen de válvulas de regulación (2 o 3 vías) permitiendo regular la potencia entregada al equipo. Estas válvulas de control están conectadas a un termostato donde su sonda se encuentra ubicada en la toma de aire.
- **Ventiladores:** La circulación del aire es garantizada por una o dos turbinas, centrifugas o tangenciales, cuyo rango de presión suele situarse entre 40 a 50 Pa, y generalmente con la posibilidad de actuar sobre 3 niveles de velocidad.
- **Condensados:** la bandeja de recogida de condensados deberá ser conectada a una línea de desagüe. En ciertos casos, por falta de caída o distancia de ese punto de desagüe, esta bandeja dispondrá de un sistema de bombeo de pequeñas dimensiones que garantizara la evacuación del agua.
- **Carcasa:** La cubierta del equipo suele ser de acero galvanizado, con recubrimiento interno con lana de fibra de vidrio o poliuretano por temas acústicos y térmicos... Aunque existen numerosas variantes para integrarse al entorno de forma estética.

### 3.1.4.1.4 Regulación de los fan&coils

Se pueden considerar diversos tipos de sistemas de control de los equipos en base a la calidad energética deseada:

- **Gestión local:** en este tipo de control, el usuario final dispone de la regulación del sistema, implicando que el equipo esté funcionando en horarios de no ocupación.
- **Gestión local y central:** el usuario tiene la posibilidad de regular la temperatura deseada en 1 a 2º entorno a la consigna estipulada en el control central. Además, se controla el paro y arranque de los equipos, implicando horarios de corte en periodos de no ocupación
- **Gestión local, central y control de presencia:** En este caso, a lo anterior se incluye un sensor de presencia mejorando el sistema, y parando los equipos en periodos de no ocupación prolongada durante los horarios estipulados de funcionamiento.

En todos los casos, el control debe tener en cuenta los diversos parámetros que influyen sobre las condiciones ambientales, tales como la temperatura, el caudal de aire y agua.

#### **3.1.4.1.4.1 Regulación de la temperatura**

Se destacan dos principios para poder llevar a cabo el control de la temperatura de impulsión e interior del local, que son:

- En el caso de que la velocidad del ventilador sea constante, el regulador deberá actuar sobre la temperatura del agua o caudal de agua en base a las condiciones interiores. En el caso, de modificar la temperatura del agua, el regulador actuará sobre una válvula de tres vías, y en el caso de modular el caudal de agua, el regulador intervendrá sobre una válvula de dos vías o tres vías puesta en reparto.
  
- En el caso de que la temperatura y caudal de agua sean constantes, el regulador modulara la velocidad de giro del ventilador en base a las necesidades del local.

La primera opción es ideal para garantizar el confort interior, ya que la velocidad del aire es fijada por el usuario, limitando su mal estar por posibles corrientes o ruidos molestos. Se debe tener en cuenta, que esta solución si la velocidad seleccionada es muy baja y las necesidades térmicas son elevadas, el equipo no lograra obtener las condiciones de temperatura requeridas.

En el segundo caso, se trata de una solución de bajo costo, pero de menor grado de confort, ya que la velocidad del equipo variara en función de las necesidades, implicando aumentos de corrientes y de ruido.

#### **3.1.4.1.4.2 Regulación de los caudales de agua en el circuito**

En los circuitos equipados de válvulas de tres vías, el caudal de agua total de la instalación es constante. Sin embargo, las instalaciones equipadas de válvulas de dos vías, cuando se cierran, la bomba de agua corre el riesgo de sufrir daños importantes. Por ello, existen dos posibilidades técnicas:

- Implantar una válvula de descarga o válvula diferencial, puesta en paralelo a la red de distribución de agua. La bomba se encuentra por lo tanto protegida, ya que trabaja a caudal constante.
- Implantar un variador de frecuencia en la bomba para ajustar el caudal a las necesidades manteniendo una presión constante en el circuito. Esta solución ofrece la ventaja de reducir el consumo eléctrico de la bomba ya que se ajusta a las necesidades reales de la instalación en cada momento.

### 3.1.4.1.4.3 Esquemas de instalación y regulación

#### 3.1.4.1.4.3.1 Instalación a dos tubos

Se integran dos circuitos a nivel del intercambiador:

- Circuito de agua que se encarga de entregar la energía térmica desde la producción al emisor
- Circuito de aire que transfiere la energía térmica del emisor al local

Las regulaciones de ambos circuitos se encuentran separadas.

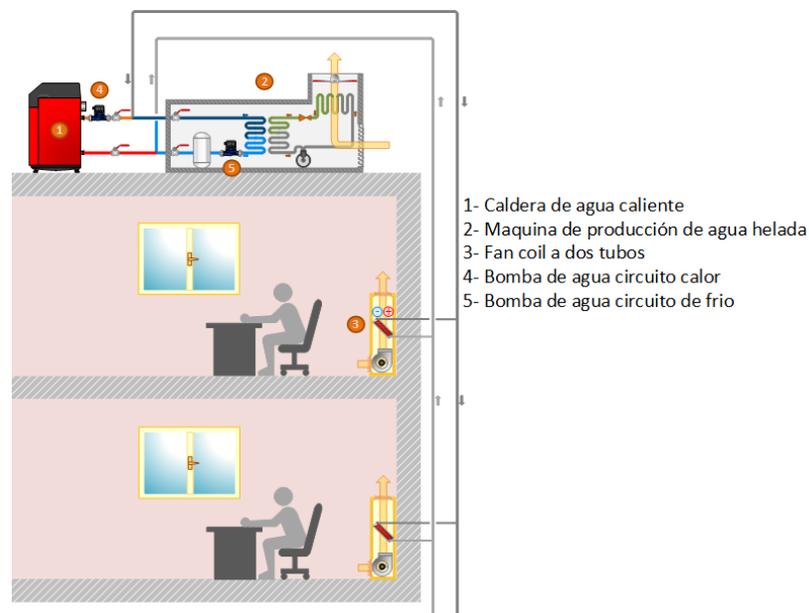
En el esquema adjunto, se distinguen esas dos regulaciones. En los fan&coils, la regulación posible es a través de:

- Válvula de tres vías sobre el circuito de agua del fan&coil
- Válvula de 2 vías y regulador de presión diferencial
- Válvula de 2 vías y bomba con variación de frecuencia.

La regulación del suministro de agua en calor o frío puede ser:

- Calor o Frío con selección verano e invierno
- Calor o frío con máquina de frío reversible

Figura 79 Esquema instalación fan&coils a dos tubos



### 3.1.4.1.4.3.2 Instalación a cuatro tubos

Tres sistemas se enlazan al nivel del intercambiador del fan&coil:

- Circuito de agua helada
- Circuito de agua caliente
- Circuito de aire

De igual forma que para la instalación a dos tubos, cada sistema dispone de una regulación independiente.

En el esquema adjunto, distinguimos por lo tanto dos regulaciones

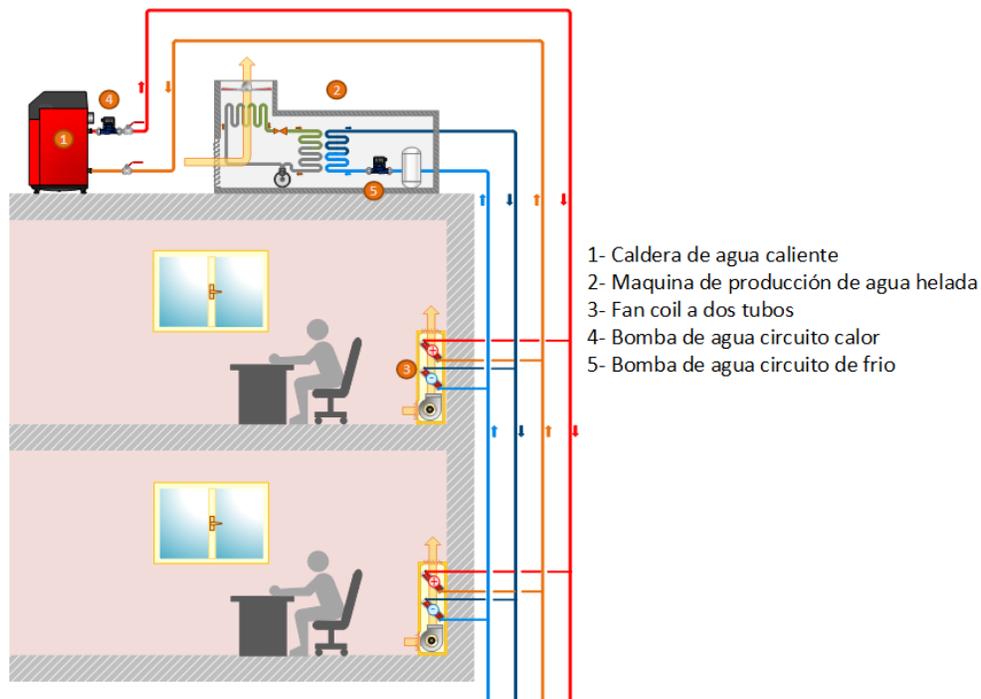
Una regulación del fancoil a través de:

- Válvula de tres vías sobre el circuito de agua del fan&coil
- Válvula de 2 vías y regulador de presión diferencial
- Válvula de 2 vías y bomba con variación de frecuencia.

La regulación del suministro de agua en calor o frío puede ser:

- Producción de Calor y frío de forma separada y simultánea (máquina de frío y caldera)
- Producción combinada de frío y calor, a través de un equipo de producción de agua helada con recuperación de calor

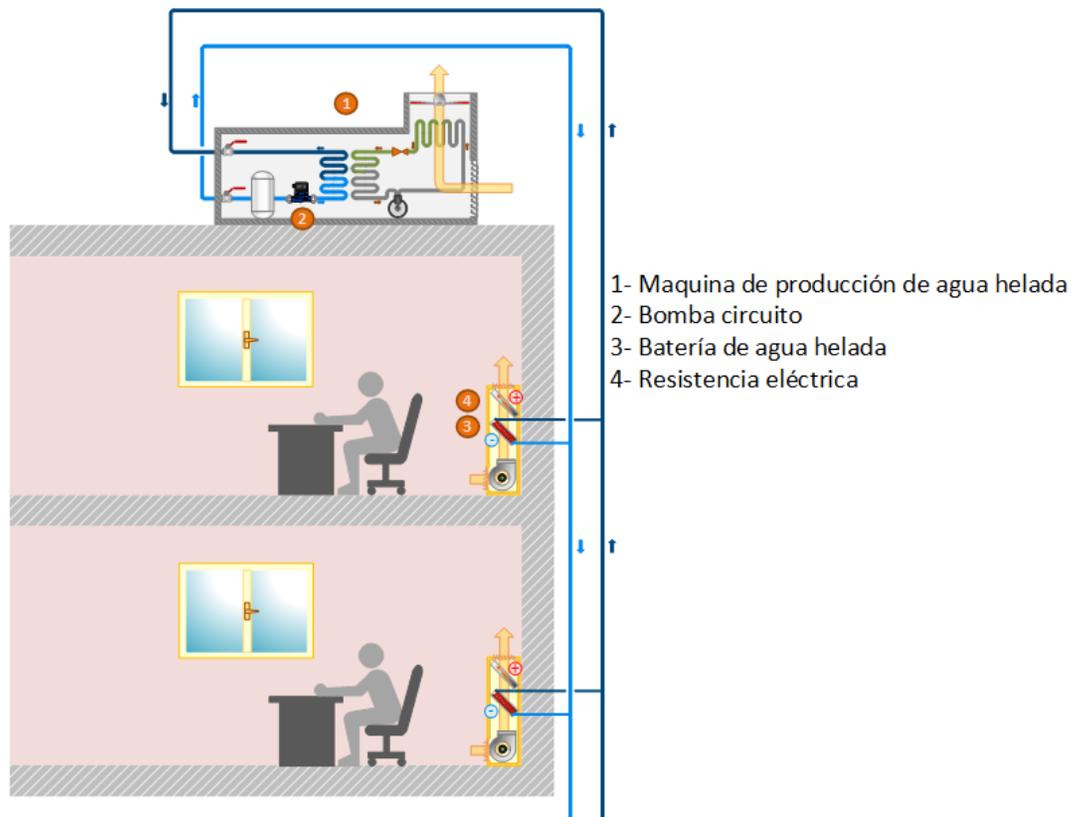
Figura 80 Esquema instalación fan&coils a cuatro tubos



### 3.1.4.1.4.3.3 Instalación a dos tubos y dos hilos

El esquema de instalación de fan&coils a dos tubos y dos hilos es relativamente simple ya que únicamente se debe realizar el circuito de agua helada. Las resistencias eléctricas pueden ser controladas de forma Todo-Nada o bien progresivamente.

Figura 81 Esquema instalación fan&coils a dos tubos y dos hilos



### 3.1.4.2 Vigas frías

#### 3.1.4.2.1 Principio de funcionamiento

Las vigas frías son emisores que utilizan la convección natural a través de intercambiadores de grandes dimensiones, ubicados en los techos. Estos equipos son atravesados por agua cuyo rango de temperatura se sitúa entre los 15 y 20°C, según las necesidades de la zona a tratar. Este rango es superior a las tecnologías convencionales de agua helada, ya que para temperatura inferior se corre el riesgo de condensaciones.

### 3.1.4.2.2 Tecnologías

Existen dos tecnologías que son:

- Vigas “activas”, donde el aire de ventilación es inyectado por pequeños tubos, induciendo el movimiento de aire del local. El rango de aire de ventilación requerido se sitúa en 1 a 2.5 volúmenes por hora, implicando que un tercio de la potencia frigorífica sea destinada a tratarlo.

Figura 82 Esquema viga fría activa

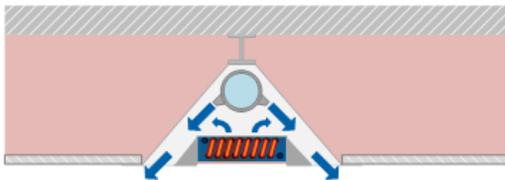


Figura 83 Viga Fría France Air modelo HQE



- Vigas pasivas donde su funcionamiento se basa en la convección natural provocada por la diferencia de temperatura entre el aire caliente del local que sube y el enfriamiento del intercambio. En este caso, la aportación de aire de ventilación es independiente del sistema.

Figura 84 Esquema viga fría pasiva

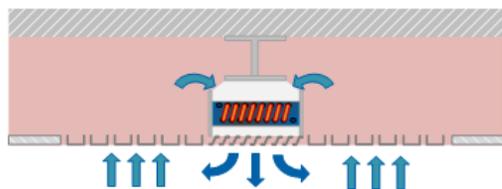


Figura 85 Viga fría pasiva HALTON modelo CPT



Las tecnologías utilizadas son muy similares entre ellas. Las vigas se distinguen básicamente por:

- El tipo de acabado (vigas con carcasa o integradas en los falsos techos)
- El tipo de implantación en la zona tratada (falso techo o a la vista)
- La distribución del aire de ventilación en la viga solo para las vigas activas o inducción.

Existen multitud de posibilidades en cuanto a instalación tal y como se puede apreciar en los siguientes esquemas:

Figura 86 Viga fría con toma de aire por rejilla

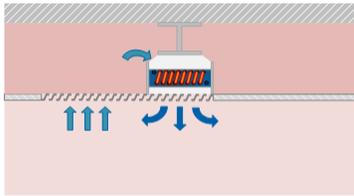


Figura 87 Viga fría por lamas separadas de falso techo

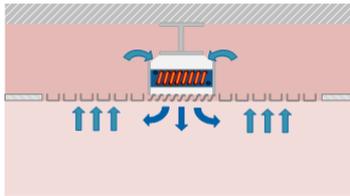
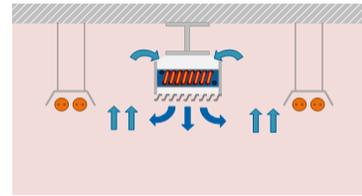


Figura 88 Viga fría en falso techo entre alumbrado



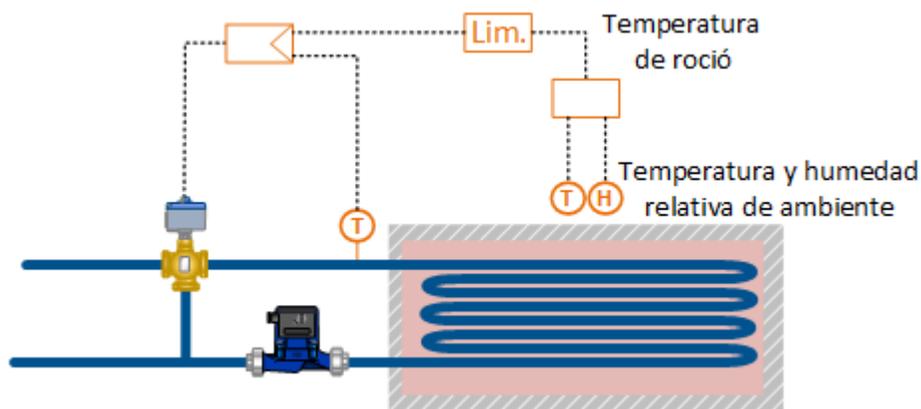
### 3.1.4.2.3 Regulación

El régimen de funcionamiento de este tipo de sistema se sitúa en 15-17°C. La regulación de este tipo de sistema se basa en controlar las condiciones interiores, teniendo una serie de consideraciones para limitar el riesgo de condensación, que son:

- Limitación de la temperatura de impulsión del agua helada
- Control de la humedad relativa a proximidad del techo, cortando el suministro de agua en las instalaciones de techo
- Control de las condiciones exterior para poder anticipar posibles fluctuaciones de humedad en el interior del local.

La regulación del suministro en agua de las vigas tiene como principal tarea el mantener la temperatura de consigna interior, siempre con la premisa de evitar las condensaciones del vapor de agua no deseadas.

Figura 89 Esquema de regulación de la viga fría



En base a la medición de la temperatura y humedad del air interior, el regulador determina el punto de rocío del ambiente y limita la temperatura del agua a un nivel de 1 a 1.5°C por encima de este punto.

Esta protección puede estar asegurada por un detector de condensación ubicado sobre la superficie del tubo de entrada, que en caso de que la humedad relativa del aire en la superficie del tubo se acerca a la de condensación, actué sobre la válvula de regulación y en ciertos casos la bomba.

## **3.2 Componentes de una instalación frigorífica**

Como se indicó en la sección 1 Ciclo Frigorífico, las máquinas de frío están compuestas por cuatro elementos principales:

- El compresor
- El condensador
- La válvula de expansión
- El evaporador

En esta sección, se detallará cada componente.

### **3.2.1 El compresor**

Es el corazón del sistema de una máquina de frío dado que bombea el refrigerante hacia los otros elementos del sistema.

Es el componente más costoso y el que consume más del 80% de la energía eléctrica del sistema de frío (este elemento es generalmente impulsado por un motor eléctrico).

Los cinco tipos de compresores más comunes usados en las máquinas de producción de frío son las siguientes:

- Compresor a pistón (alternativo),
- Compresor scroll
- Compresor rotativo
- Compresor de tornillo,
- Compresor centrífugo,

Figura 90 Compresor a pistón

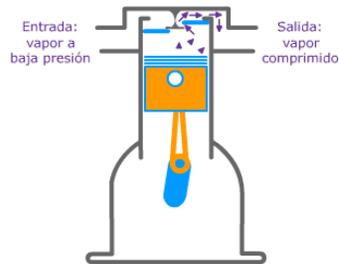


Figura 91 Compresor scroll

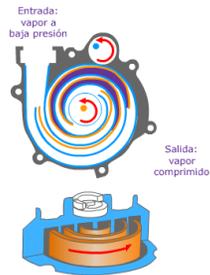
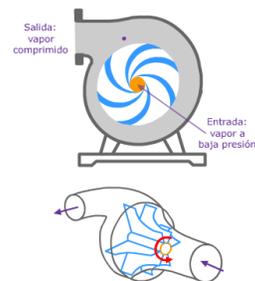


Figura 92 Compresor de tornillo



Figura 93 Compresor centrífugo



### 3.2.1.1 Compresores a pistón

El compresor a pistón tiene la necesidad de ser lubricado permanentemente. La parte inferior del cárter forma una reserva de aceite. La presión reinante en el cárter es la presión aspiración. La bomba de aceite entrega una presión superior (entre 0.5 y 4 bar) a la presión reinante en el cárter.

El compresor a pistón es relativamente sensible a la llegada del fluido líquido, ya que la mínima gota de líquido en las válvulas genera un desgaste continuo y lento del conjunto. En el caso de una entrada importante de fluido, la destrucción de las válvulas es inmediata. Por ello, estos equipos disponen de protecciones anti golpe de líquido (resorte sobre la tapa del cilindro, capaz de levantarse en caso de llegada de líquido)

El espacio muerto corresponde al volumen que se queda entre el pistón y el fondo del cilindro, cuando el pistón se encuentra en posición alta máxima. Este espacio es necesario para evitar posibles choques cuando el pistón se encuentra al final de su recorrido. Su valor ronda los 4% del volumen del cilindro. Hay que tener en cuenta que cuanto menor espacio mayor rendimiento volumétrico del compresor.

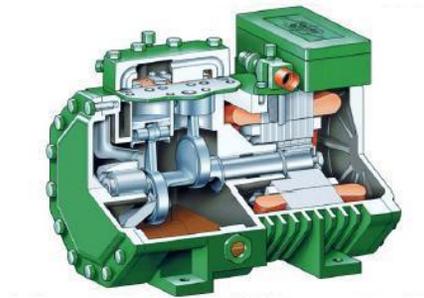
### 3.2.1.1.2 Compresor a pistón de construcción abierta

Los compresores abiertos se diferencian de los semi-herméticos porque tienen un eje (cigüeñal) que sale al exterior. Se le puede acoplar un motor eléctrico, a diésel o a gas.

A diferencia de los otros dos tipos de compresores, estos equipos permiten acceder a todos los elementos. La potencia está regulada por el arranque o paro de ciertos cilindros o por el cambio de régimen del motor acoplado.

Su uso es generalmente para instalaciones de potencias frigoríficas inferiores a 500 kW.

Figura 94 Corte de un compresor a pistón



Fuente: <http://www.energieplus-lesite.be>

El compresor a pistón clasifica según su construcción en tres tipos: sellado, semisellado y abiertos.

### 3.2.1.1.3 Compresor de construcción semihermético

Este tipo de equipos se encuentran encerrados dentro de una carcasa equipada de una tapa de acceso para poder llevar a cabo inspecciones. Tienen un gran uso tanto en la refrigeración comercial como en el aire acondicionado y se destinan a instalaciones inferiores a 500 kW de frío. Al contrario de los equipos herméticos, se pueden reparar pero su costo es más elevado.

Figura 95 Compresor semihermético



#### 3.2.1.1.4 Compresor de construcción hermético

Conocidos también como compresores sellados, están contruidos dentro de una carcasa de metal. Trabajan con velocidades de 1,750 a 3,500 rpm con motores de 2 y 4 polos. Estos motores se fabrican desde 1/20 HP a 7 ½ HP, es decir que son equipos que se encuentran en las PyMEs.

Son equipos silenciosos y baratos. Sin embargo, no se pueden reparar por estar sellados.

Sin embargo, presentan desventajas tales como:

- El fluido refrigerante y el aceite de lubricación deben ser compatibles con los materiales que componen el motor.
- La refrigeración del motor es realizada por el fluido frigorífico, calentándolo y perjudicando obviamente el ciclo frigorífico. Además, cuando el motor se daña, es el conjunto del circuito frigorífico que se verá afectado y deberá ser objeto de una limpieza general. En caso de avería, este tipo de compresor no permite reparaciones. Para limitar posibles averías por sobrecalentamiento, estos equipos disponen de órganos de seguridad tales como Klixon montado en el embobinado del motor, desconectando la alimentación eléctrica en caso de sobrecalentamiento.

La potencia de refrigeración no puede ser regulada a menos de incorporar un variador de frecuencia.

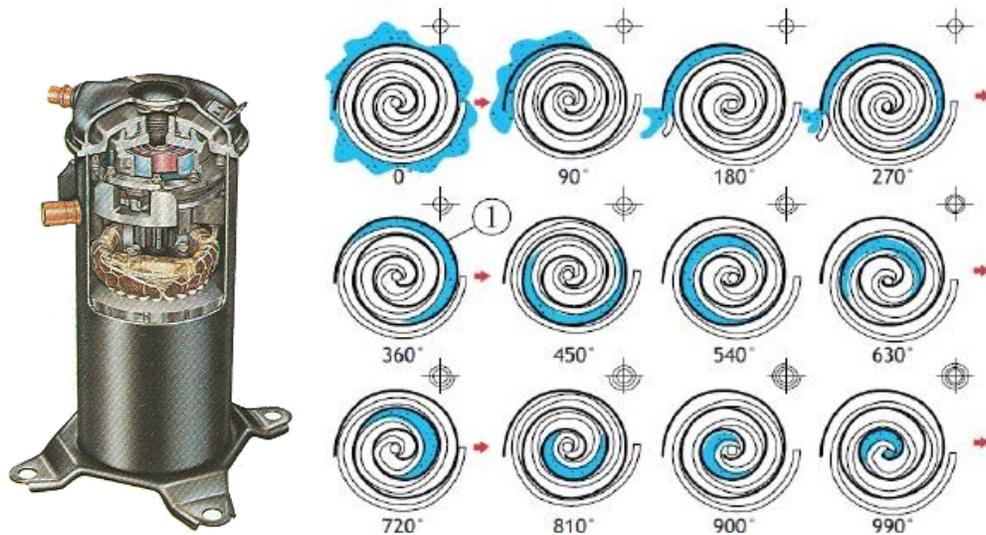
Figura 96 Compresores a pistón herméticos



#### 3.2.1.2 Compresor scroll

El compresor scroll se compone de dos espirales: la primera es fija, pegada a la carcasa, y la segunda giratoria. Las espirales están desfasadas de 180°. La espiral móvil esta manejada por el motor y gira dentro de la espiral fija, formando una bolsa de gas. Este movimiento orbital produce una reducción progresiva de la bolsa de gas hasta su desaparición total, así se lleva a cabo el ciclo de compresión del refrigerante.

Figura 97 Compresor Scroll



Al tener mucho menos partes móviles que en los compresores a pistón (60% menos), existe menos fricción, por lo que este compresor es más eficiente, bajo en ruido, con poca vibración.

Esto se traduce por un COP del orden de 4 en promedio anual, mientras que los compresores a pistón tienen un COP de 2.5 aproximadamente.

Su potencia máxima es de 50 kW pero se puede instalar varios equipos en paralelo hasta 300 kW.

Para regular su velocidad, existen tres opciones:

- Regulación “todo o nada”
- Regulación por un motor de dos velocidades
- Regulación por un variador de frecuencia

### 3.2.1.3 Compresor rotativo

Se trata de un compresor de la familia de los equipos volumétricos, y se distinguen dos tecnologías:

- Compresor rotativo a pistones rodantes
- Compresor rotativo de paletas

En estos dos casos, un estator cilíndrico contiene un rotor descentrado frente al eje del estator. Un volumen de refrigerante es aislado y comprimido hasta obtener la presión deseada.

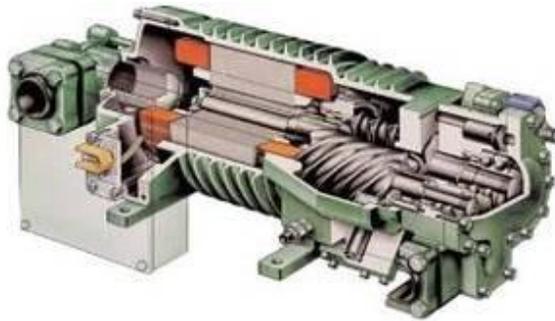
Las potencias frigoríficas para este tipo de tecnologías no superan los 10 kW. Se suelen utilizar en climatizadores individuales.

### 3.2.1.4 Compresor tornillo

Son equipos con un rango de funcionamiento variable: de 10% a 100%, con un rendimiento bastante constante. Existen máquinas abiertas o cerradas.

Su modo de funcionamiento consiste en comprimir el refrigerante por medio de un tornillo helicoidal que gira a alta velocidad, este compresor es alimentado por un motor eléctrico.

Figura 98 Compresor tornillo



Fuente: Bitzer

El rendimiento volumétrico de un compresor tornillo es alto por la ausencia de espacios muertos, como en los compresores a pistón. Esta propiedad permite asegurar una relación de compresión elevada. Debe estar bien lubricado para asegurar la estanqueidad entre las diferentes piezas en movimiento, reducir el ruido y también para enfriar el refrigerante. La relación de compresión alcanza entonces valores de 20 sin alterar el refrigerante.

En los equipos de gran capacidad, un mecanismo de regulación define la utilización de una parte más o menos larga del tornillo en la compresión de los gases, esto permite hacer variar la relación de compresión.

En los equipos más pequeños (que siguen siendo muy grandes en comparación de los compresores a pistón), la variación de la potencia del compresor se obtiene al cambiar la velocidad de rotación del tornillo o bien al utilizar unos puertos de admisión auxiliares.

**Figura 99 Compresor tornillo 2**



Las ventajas del compresor tornillo son su bajo desgaste y su regulación sencilla. Sin embargo, es una tecnología todavía costosa. Desde hace poco, se utiliza el compresor tornillo para potencia de 20 kW en adelante.

### 3.2.1.5 Compresor centrífugo o turbocompresor

Son equipos capaces de desplazar grandes cantidades de aire. El compresor centrífugo es un dispositivo de tipo dinámico, no de desplazamiento positivo como la mayoría de los equipos utilizados en máquinas de refrigeración. Está constituido por una o más ruedas impulsoras, montadas sobre un eje y contenidas dentro de una carcasa. El aumento de presión se consigue por conversión desde energía cinética.

Su principio de operación es similar a los ventiladores o al de las bombas centrífugas.

**Figura 100 Compresor centrífugo**



*Fuente. Atlas Copco*

No tienen relaciones de compresión muy elevadas. Su campo de aplicación son las grandes instalaciones de aire acondicionado.

En general, se usa el compresor de pistón (o reciprocante) hasta las decenas de kW. Hasta los centenares de kW se usa el compresor de tornillo, también de desplazamiento positivo (o volumétrico), pero a partir de los centenares de kW, se utiliza el compresor centrífugo, y en tamaños de MW se usa el compresor axial.

Cuando no se tolera aceite en el gas refrigerante es necesario recurrir al compresor centrífugo, incluso en tamaños que son dominio del compresor de tornillo (aunque existan modelos de tornillo libres de aceite). En los sistemas de producción de frío por compresión del gas refrigerante, al igual que en compresor de aire, se emplean compresores de pistón y de tornillo en los tamaños menores. En grandes tamaños se recurre a los compresores centrífugos que principalmente se usan a partir de 400 kW de potencia al eje.

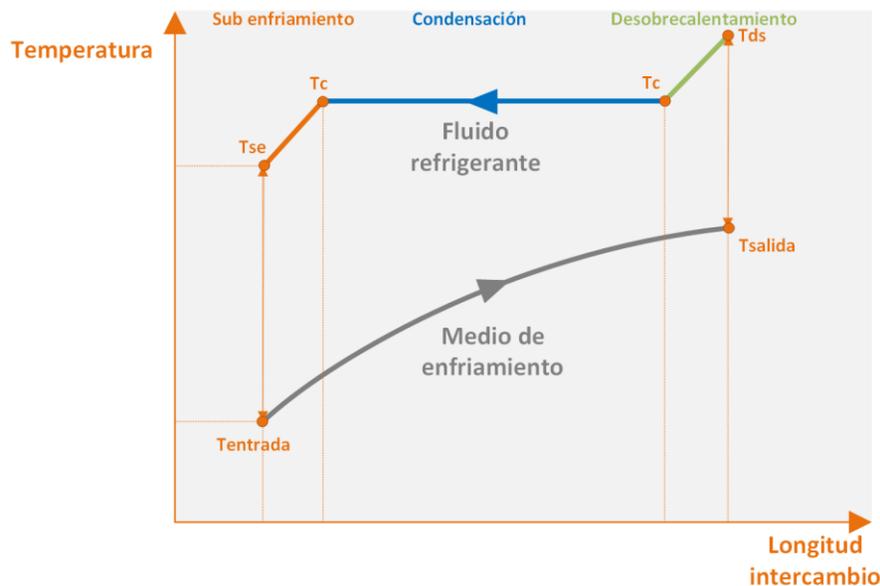
### 3.2.1.6 Condensadores y torres de refrigeración

Se trata de un intercambiador en el que el fluido frigorífico en estado gaseoso, después de la compresión, es condensado a temperatura constante, liberando en el medio (agua o aire) el calor recuperado en el evaporador y en la compresión.

El condensador se divide en tres partes que se encuentran delimitadas por los parámetros de funcionamiento:

- Zona de sobrecalentamiento
- Zona de condensación
- Zona de sub enfriamiento

Figura 101 Diagrama de intercambio condensador



### 3.2.1.6.1 Condensadores de agua

Desde un punto de vista tecnológico los condensadores de agua ofrecen más diversidad que los condensadores de aire. El coeficiente de transmisión K es mayor y el enfriamiento estando garantizado por agua cuyo calor específico es de 4.18 kJ/kg°C (4 veces mayor que el del aire), hacen que para una misma potencia de disipación, la tecnología basada en el agua, requiera de material de menor tamaño.

Sin embargo, el agua no es un fluido gratuito como el aire, su caudal por lo tanto en el condensadora se verá limitado.

#### 3.2.1.6.1.1 Intercambiador coaxial

Este tipo de condensador se compone de dos tubos enrollados en espiral, el fluido frigorífico circula por el interior del tubo central y el agua por la zona externa.

Los dos fluidos circulan en contra corriente para favorecer el intercambio de energía térmica. El rango de calentamiento del agua se sitúa entre 8 y 12°C.

Figura 102 Condensadores de agua



#### 3.2.1.6.1.2 Intercambiador botella

Este tipo de intercambiado tiene dos propósitos. El primero de botella de almacenamiento de líquido y el segundo de condensador. Se compone de un serpentín en el circula el agua de enfriamiento, el fluido refrigerante se encuentra almacenado en el deposito donde se condensa al contacto con el tubo de agua. El rango de calentamiento del agua se sitúa entre 8 y 12°C.

Figura 103 Esquema condensador de botella



Figura 104 Condensador marca CARLY modelo Condor V



### 3.2.1.6.1.3 Intercambiado multi-tubular

Un gran número de tuberías horizontales se encuentran alojadas en el interior de un depósito y conectadas en sus extremidades a dos colectores. El agua circula por el interior de las tuberías y el fluido refrigerante por el depósito donde se condensa en contacto con los tubos de agua. La ventaja de este tipo de sistema reside en la posibilidad de desmontaje de los elementos, permitiendo un mejor mantenimiento del conjunto.

Figura 105 Esquema condensador multi tubular

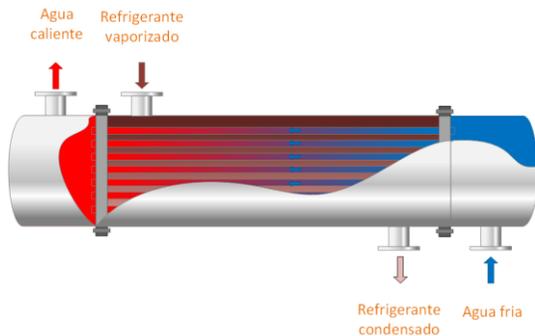


Figura 106 Condensador multitubular Marca CIATESA



### 3.2.1.6.1.4 Intercambiador de placas

Este tipo de condensador se compone de un ensamble de placas con ranuras donde circulan ambos fluidos. La estanqueidad entre placas se realiza por medio de juntas de polímero. Este tipo de intercambiador dispone de dos configuraciones de circulación de los fluidos, contra corriente o paralela.

La ventaja de este tipo de intercambiador es el de disponer de una gran superficie de intercambio en un volumen muy reducido, aunque resulta muy sensible al ensuciamiento.

Figura 107 Esquema condensador de placas

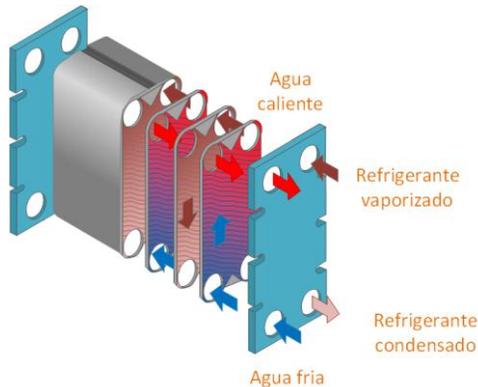


Figura 108 Condensador de placas THERMOFIN



### 3.2.1.6.2 Condensadores de aire

Estos intercambiadores permiten a los vapores sobrecalentados provenientes del compresor de cambiar el estado del refrigerante a líquido.

Los gases sobrecalentados ceden energía calorífica cuando atraviesan el condensador con intercambio con el aire permitiendo la condensación del refrigerante.

El aire es un medio de condensación interesante ya que existe en grandes cantidades. Sin embargo su coeficiente de transmisión térmica es muy bajo, implicando grandes superficies de intercambio y flujos de aire.

La potencia del condensador es igual a la suma de la potencia frigorífica (evaporador) y la potencia del motor eléctrico del compresor.

#### 3.2.1.6.2.1 Condensador estático

En general se trata de los condensadores que equipan los pequeños aparatos frigoríficos domésticos. El aire circula alrededor de un serpentín amarrado a una placa metálica que sirve de disipador térmico.

#### 3.2.1.6.2.2 Condensador ventilado

Suelen ser de acero o cobre equipados de aletas de aluminio. Se componen generalmente de una carcasa, un serpentín, y de ventiladores tanto axiales como centrífugos. El serpentín del condensador dispondrá de tubos con ranuras internas escalonadas (ya que aumenta la superficie de intercambio) y equipados de aletas de aluminio onduladas que favorecen de igual forma el intercambio térmico. En los ambientes corrosivos, las aletas pueden ser de materiales

inoxidables o aceros revestidos de una capa protectora anti corrosiva. Las baterías pueden estar posicionadas horizontalmente o verticalmente así como en V.

En vista de que la temperatura del aire puede fluctuar de forma importante a lo largo del año, el caudal de aire debe poderse regular o bien a través de una cascada de ventiladores o a través de variadores de frecuencia implantados en los motores de los mismos.

En regla general, el diferencial de temperatura entre la entrada y salida de aire del condensador se sitúa en 15°C. El ensuciamiento del condensador puede provocar incrementos de temperatura en el condensador de 5°C, generando pérdidas de potencia de la instalación frigorífica de aproximadamente un 7% y un aumento de consumo del 16%.

### **3.2.1.7 Torres de refrigeración**

#### **3.2.1.7.1 Componentes de la torre de refrigeración**

##### **3.2.1.7.1.1 Estructura de soporte**

Se trata del armazón que soporta el conjunto de los elementos de la torre de refrigeración. Está compuesta de materiales resistentes a la corrosión tales como hormigón armado, estructuras metálicas galvanizadas y aceros inoxidables.

##### **3.2.1.7.1.2 Carcasa**

La carcasa corresponde al componente de la torre que recubre la estructura. Se trata de un elemento estanco que no deje penetrar la radiación solar, evitando por lo tanto el calentamiento del agua y la formación de microorganismos. Los materiales de este elemento son hormigo armado, poliéster, poliéster reforzado con fibra de vidrio o acero inoxidable.

##### **3.2.1.7.1.3 Difusor**

Se trata de un sistema que reduce la presión estática del aire y que se ubica en la parte superior de la torre. Este componente elimina las turbulencias existentes en la zona de los ventiladores, evitando posibles recirculaciones y como protección mecánica. El material más común es hormigón armado o el poliéster reforzado con fibra de vidrio.

##### **3.2.1.7.1.4 Separador de gotas**

El separador de gotas tiene como función evitar que las gotas de agua sean expulsadas hacia el exterior de la torre, evitando reposición de agua como limitando posibles perjuicios a equipos colindantes. Esto se logra obligando al aire cargado de humedad, a realizar cambios bruscos de dirección, implicando la acumulación de gotas de agua en el cuerpo del separador.

El material del separador de gotas es similar al de los rellenos aunque en la actualidad se tiende a materiales de origen plástico. A continuación se muestran las diversas tipologías de separadores de gotas.

Figura 109 Separador de gotas de paso sencillo

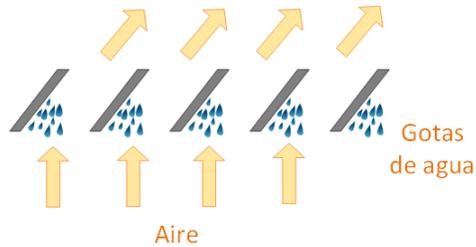


Figura 110 Separador de gotas de paso doble

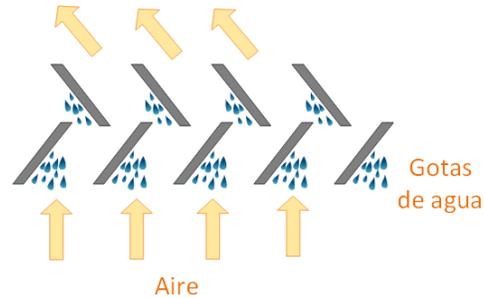


Figura 111 Separador de gotas triple unido

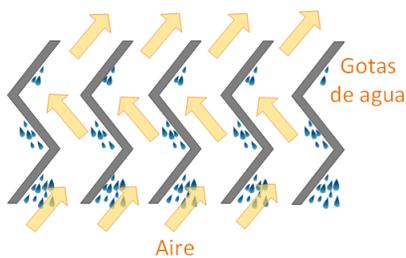


Figura 112 Separador de gotas triple solapados

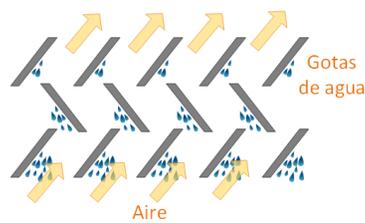
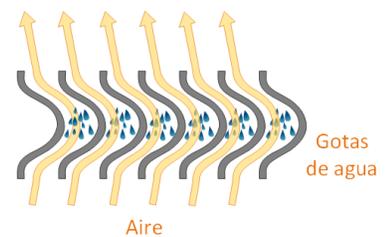


Figura 113 Separador de gotas ondulado



### 3.2.1.7.1.5 Pulverizadores o rociadores

Se trata del sistema de distribución del agua que distribuye de forma homogénea el agua sobre el relleno.

#### 3.2.1.7.1.5.1 Por presión

Este sistema es generalmente utilizado en torres a contracorriente, y utiliza toberas que requieren una cierta presión de agua (por encima de los 5 kg/cm<sup>2</sup>). Su regulación es compleja frente al sistema por gravedad,

Figura 114 Rociador a tubería compresión

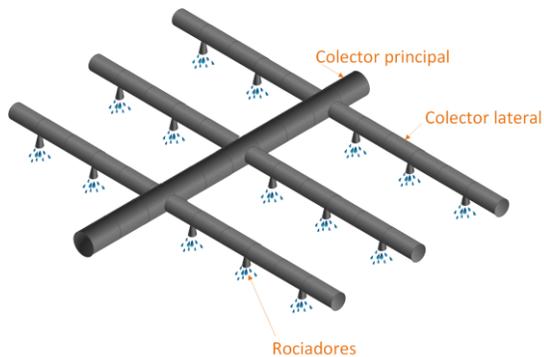
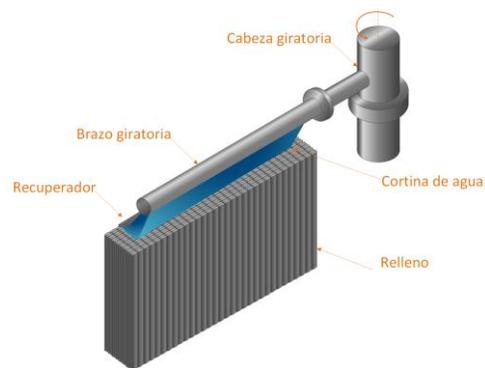


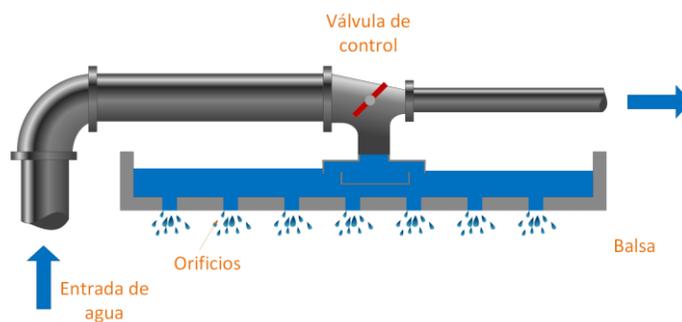
Figura 115 Rociador rotativo a presión



### 3.2.1.7.1.5.2 Por gravedad

Este sistema no requiere de presión elevada, implicando el correspondiente ahorro de energía eléctrica ligada al sistema de bombeo. La regulación de este tipo de sistema se realiza manipulando directamente la válvula de control hasta obtener la lámina de agua deseada.

Figura 116 Rociador por gravedad



### 3.2.1.7.1.6 Relleno

El relleno de las torres es uno de los principales elementos de la torre, ya que se encarga de prolongar el tiempo de contacto entre el aire y el agua, favoreciendo el intercambio de energía calorífica entre ambos fluidos.

Estos rellenos se caracterizan por:

- Disponer de una gran superficie de contacto
- Disponer de una gran resistencia mecánica y química ( no se altera y es inmune a los microorganismos) así como de disponer de poco peso con respecto a su volumen
- Disponer de una pérdida de carga baja
- Material de bajo costo

A continuación, se reflejan las diferentes tipologías de relleno existentes:

#### 3.2.1.7.1.7 Rellenos de goteo

Este tipo de relleno fomenta la creación de gotas de agua de pequeñas dimensiones que permiten la evaporación del agua en contacto con el aire. Este relleno está formado por pisos superpuestos o rejillas sucesivas implicando la formación sucesiva de gotas de menores dimensiones.

Esta tecnología requiere de mucha más altura que los sistemas laminares, para obtener las mismas condiciones de operación. Además, el flujo de arrastre es importante implicando la colocación de separadores de agua de alta eficiencia.

#### 3.2.1.7.1.7.1 Rellenos de película o laminares

Este relleno crea una lámina de agua de gran superficie y delgada, permitiendo la evaporación de parte del fluido y por lo tanto mejorando considerablemente el rendimiento de enfriamientos. Para ello, se dispone de materiales de gran adherencia, permitiendo la formación de esta película con características constantes a lo largo del relleno-

Este relleno ofrece menos arrastre que el anterior, implicando la posibilidad de trabajar con mayores velocidades de aire, y por lo tanto dimensiones menores que el relleno de goteo. Sin embargo, sus características constructivas favorecen la acumulación de suciedad, reduciendo la superficie de intercambio.

#### 3.2.1.7.1.7.2 Rellenos mixtos

Este tipo de relleno se basa en salpicadura y película, permitiendo una mejora en el intercambio. Para ello, se disponen de rejillas o tubos para fomentar este tipo de fenómeno.

Ventiladores

#### 3.2.1.7.1.8 Balsa de agua fría o enfriada

Se trata del recipiente donde se encuentra almacenada el agua enfriada por su paso por el relleno.

### 3.2.1.7.2 Tipologías de torres de refrigeración

#### 3.2.1.7.2.1 Torre abierta de tiro inducido

En este tipo de torres, se dispone de ventiladores axiales que según la capacidad pueden ser de transmisión directa o por correas.

Figura 117 Esquema torre abierta de tiro inducido

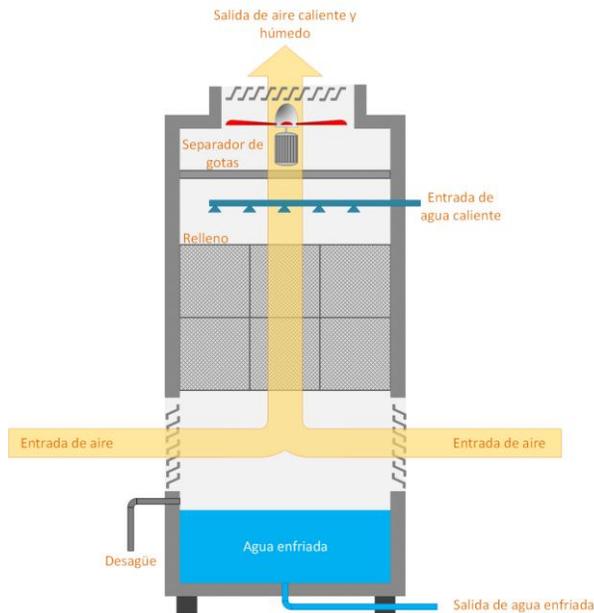


Figura 118 Torre de refrigeración TEVA modelo TVAE



Se realiza un rociado del agua a través de una serie de toberas ubicadas en la parte alta de la torre. A fin de poder dimensionar la bomba, el fabricante especifica la presión de agua que deba mantenerse en esos rociadores.

### 3.2.1.7.2.2 Torre abierta de tiro forzado

En este tipo de torre se dispone de ventiladores que pueden ser de tipo axial como centrífugo, ubicados en los laterales de la torre.

Figura 119 Torre abierta de tiro forzado

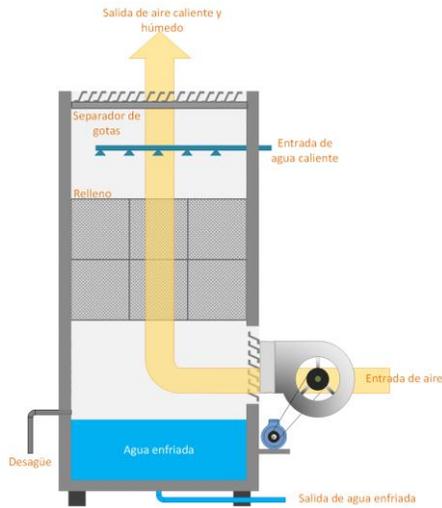


Figura 120 Torre de refrigeración TEVA modelo TVC



El agua es rociada a través de toberas y de igual forma que para el anterior tipo de torre, el fabricante señala la presión de agua que se requiere en ese punto.

### 3.2.1.7.2.3 Torre abierta de flujo cruzado y tiro forzado

Esta torre dispone de ventiladores axiales de gran diámetro y de bajas revoluciones. Su transmisión es por correo.

Figura 121 Esquema torre abierta de flujo cruzado de tiro forzado

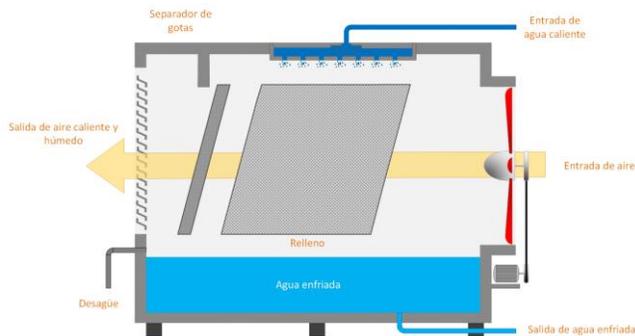


Figura 122 Torre de refrigeración BAC modelo FXT



El agua es rociada por gravedad a través de bandejas colectoras equipadas de rociadores ubicadas en la parte alta de la torre.

### 3.2.1.7.2.4 Torre abierta de flujo cruzado y tiro inducido

Este tipo de sistema se suele utilizar para torres de gran tamaño. Se dispone de un equipo de ventilación de tipo axial (por transmisión directa o poleas) en la parte superior central de la torre. El aire se toma por dos de los laterales del equipo, forzando el paso del aire a través de los rellenos y por los separadores de gotas.

En este tipo de equipos el rociado de agua se suele realizar por gravedad por medio de bandejas colectoras y rociadores ubicados encima del relleno. La inclinación del relleno y separador de gotas es debido a la compensación de la presión de aire ejercida sobre el agua, favoreciendo de este modo el paso del agua por los elementos.

Figura 123 Esquema de torre abierta de flujo cruzado y tiro inducido

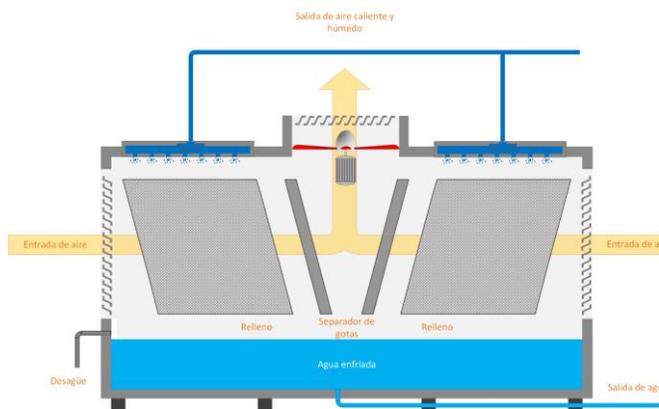


Figura 124 Torre de refrigeración BAC modelo S3000E



## 3.2.2 Sistemas de expansión

El sistema de expansión es uno de los cuatro componentes fundamentales de un circuito frigorífico. Se instala entre la mirilla de líquido y la entrada al evaporador. Su función consiste en reducir la presión del fluido frigorífico y por lo tanto su temperatura. Además permite regular la cantidad de fluido refrigerante en el evaporador.

### 3.2.2.1 Expansión capilar

Este sistema suele ser utilizado para instalaciones de baja potencia y corresponde al sistema de expansión más básico. Este equipo se basa en un tubo de pequeño diámetro (entre 0.6 a 2.8 mm) y espesor de 1 mm donde la longitud determina la potencia que se entregará, ya que se basa en pérdida de carga del tubo capilar. Este órgano de expansión resulta muy fiable ya que no dispone de componentes mecánicos, y entregará un caudal de fluido refrigerante constante.

Esta expansión por lo tanto no permite ajustar la inyección de fluido refrigerante en el evaporador en base a la carga térmica y condiciones de enfriamiento del condensador.

El circuito de frío deberá estar en condiciones perfectas, es decir, sin suciedad y deshidratado para garantizar la integridad del capilar.

El capilar no interrumpe el contacto entre la Baja presión y alta presión en el momento de paro, permitiendo por lo tanto, un equilibrio de presiones y facilita el arranque del compresor.

Figura 125 Esquema de expansión laminar

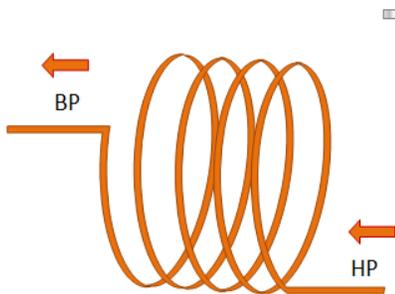


Figura 126 Foto de expansión capilar CHAVE CATRACA



### 3.2.2.2 Expansión termostática

Este tipo de expansión garantiza la alimentación en fluido refrigerante del evaporador considerando la carga térmica (cantidad de calor que se debe absorber). Para mantener un sobrecalentamiento constante, el bulbo de la expansión se posiciona a la salida del evaporador. Este órgano asegura y garantiza que el cambio de estado del fluido refrigerante se realice en su totalidad en el evaporador, actuando sobre la presión de entrada en el evaporador. La potencia de la máquina de frío es por lo tanto variable, con un límite máximo fijado por la boquilla del sistema de expansión. (Tamaños de las boquillas 0, 01, 02, 03, 04, 05, 06). Cuando la boquilla del sistema de expansión está mal dimensionada, es posible que se produzcan efectos de bombeo.

Figura 127 Esquema de expansión termostática

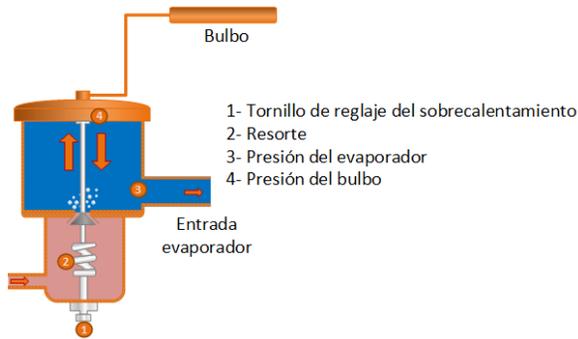


Figura 128 Expansión termostática DANFOSS TEX2N



### 3.2.2.3 Expansión termostática a equilibrado de presión externa

Este tipo de expansión, se recomienda en los sistemas donde el evaporador dispone de una fuerte pérdida de carga (intercambiadores con multitud de filas, intercambiadores de tipo placas, entre otros). Este tipo de sistema de expansión no elimina o reduce las pérdidas de carga pero permite compensarlas. La diferencia más relevante entre el sistema de expansión a equilibrado interno frente al externo, es la presencia de una conexión suplementaria a través de un tubo de pequeñas dimensiones a la salida del evaporador y el órgano de control.

Este sistema tiene la misma función que el sistema de expansión termostática, además de compensar el exceso de pérdida de carga en el evaporador. Para ello, se mide la presión a la salida del evaporador, implicando una entrada suplementaria en el sistema de expansión de presión externa.

Figura 129 Esquema de expansión a equilibrado de presión

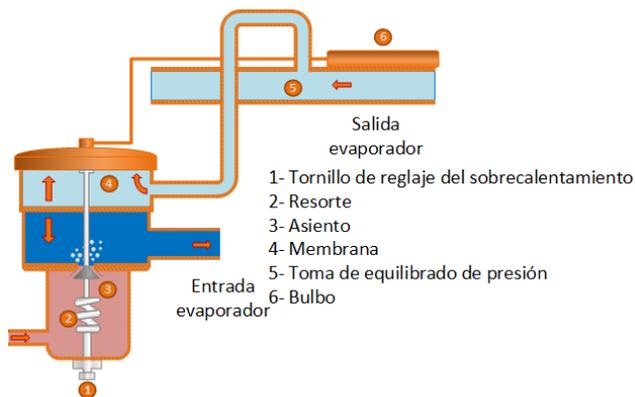


Figura 130 Expansión termostática a equilibrado de presión DANFOSS



### 3.2.2.4 Expansión a mando electrónico

Este sistema garantiza la alimentación en fluido refrigerante del evaporador considerando la carga térmica. Para mantener un sobrecalentamiento constante, el sistema de expansión es controlado por motor de pasos, que abre y cierra la entrada de la boquilla, asegurando la correcta alimentación en fluido del evaporador. Este tipo de expansión se suele utilizar en los sistemas de climatización Inverter (regulación de la potencia), que disponen de compresores a velocidad variable, y requieren de un ajuste del caudal de refrigerante.

Figura 131 Expansión electrónica EMERSON CX2



### 3.2.3 Regulación y protecciones del sistema de compresión

Cada uno de los componentes que constituyen el circuito frigorífico de un equipo a compresión, tienen diversas funciones que se encuentran reguladas de forma independiente pero con un objetivo único el de asegurar el correcto funcionamiento del sistema.

Entre las regulaciones y protecciones básicas disponemos de lo siguiente:

#### 3.2.3.1 Ajustar la potencia entregada por el equipo en base a la demanda:

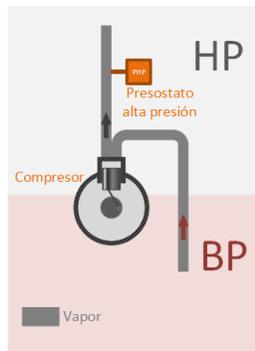
Las máquinas frigoríficas se encuentran dimensionadas para cubrir la máxima demanda de frío. Esta demanda suele ser para unas condiciones excepcionales que no superan del 10% del año. Por ello, resulta indispensable poder adaptar la potencia entregada a través de la actuación sobre el compresor. Existen numerosas técnicas para ello, las cuales podemos destacar las siguientes:

- Paro del compresor
- Variar la velocidad de rotación del compresor
- Realizar un by-pass entre la aspiración y descarga del compresor
- Crear una pérdida de carga regulable a la salida del compresor

### 3.2.3.2 Limitar la presión máxima a la salida del compresor:

Se trata de una protección en caso de fallo del fluido caloportador del condensador. Si por cualquier razón no se cede la energía calorífica contenida en el refrigerante en el condensador, la temperatura a nivel del evaporador se incrementará, implicando una presión excesiva a la entrada del compresor y por lo tanto en su descarga. Para lograr limitar esa presión, se instala un presostato de alta presión a la salida del compresor, cuya función es el de parare el compresor cuando se supera el umbral de presión.

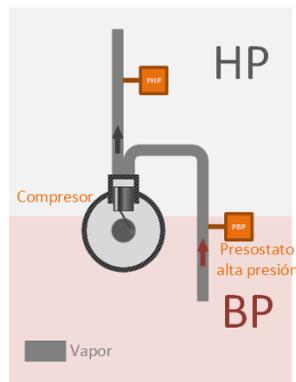
Figura 132 Presostato HP compresor



### 3.2.3.3 Limitar la presión mínima a la entrada del compresor:

De igual forma, se trata de una protección del circuito frigorífico. En caso de que la energía frigorífica demandada por el fluido caloportador del evaporador sea baja, implica una disminución de la temperatura de evaporación del refrigerante pudiendo generar congelamientos del evaporador. Este congelamiento es acentuado por la falta de intercambio provocado por el hielo, implicando la aceleración del fenómeno y deteriorando el conjunto del sistema. Se incorpora para garantizar el correcto funcionamiento un presostato de baja presión a la entrada del compresor que obliga su arranque en caso de baja presión.

Figura 133 Presostato HP y BP compresor



### Evitar el sobrecalentamiento del compresor

Para evitar el sobrecalentamiento del compresor causado por los arranques y paros del equipo, se incorpora un sistema que limita el arranque frecuente y mantiene un tiempo mínimo de funcionamiento.

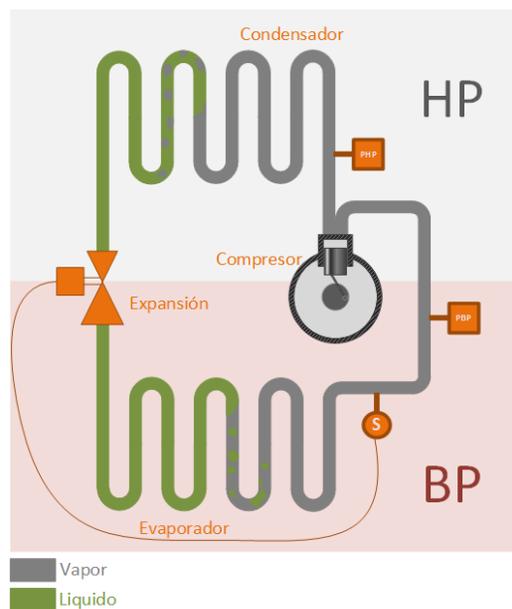
### 3.2.3.4 Lubricación del sistema

Al tratarse de una compresión mecánica, se requiere que el conjunto del compresor este correctamente lubricado. Se incorpora el aceite necesario en el circuito, mezclado con el fluido refrigerante. Todo sistema de lubricación se encuentra acompañado de un sistema de resistencia del cárter, ya que cuando la temperatura ambiente es baja cabe la posibilidad que el aceite absorba vapores de fluido refrigerante. Este aceite cargado de vapores se acumula en el cárter, pudiendo causar en el arranque golpes de líquido y falta de aceite.

### 3.2.3.5 Evitar los golpes de líquido de refrigerante

El compresor está previsto para comprimir el fluido refrigerante y no líquido. Es indispensable asegurar que el estado del refrigerante a la entrada del compresor sea vapor. Para ello, la expansión dispone de una válvula magnética que en base a la temperatura de sobrecalentamiento actúa sobre el caudal de refrigerante.

Figura 134 Control válvula de expansión



## 4 COMO REALIZAR EL LEVANTAMIENTO EN CAMPO

En esta sección, se indicarán los datos a recolectar en campo, durante el recorrido de las instalaciones técnicas. Estos datos permitirán analizar el estado actual de los equipos e instalación, los elementos que se deben inspeccionar, las cuestiones que se deben investigar con el personal, etc. Toda esta información nos servirá posteriormente para detectar las mejoras energéticas relacionadas con las instalaciones de aire acondicionado.

En primer lugar, es importante analizar las condiciones generales del sistema de aire acondicionado, conversar con el personal de la PyME, usuarios de la climatización.

Durante el recorrido, se solicitará el listado de los equipos de aire acondicionado instalados al personal de la PyME o en su defecto, levantar los datos de cada equipo en el formato de recopilación de la sección siguiente (ver 5. Formato de recopilación de datos). Con estos datos, se comprobará el funcionamiento adecuado de estos sistemas o equipos.

### 4.1 Condiciones generales de funcionamiento

Varios parámetros influyen en la sensación de confort percibida por los ocupantes del espacio como son las características de construcción del inmueble, el impacto de la radiación solar, los horarios de funcionamiento, la ubicación de las rejillas de impulsión y retorno, de los termostatos, etc.

#### 4.1.1 Características constructivas

El aislamiento del edificio juega un papel fundamental en la sensación de confort térmico de los ocupantes. En efecto, podemos comparar esta situación con una cubeta en la cual ponemos agua. Si queremos mantener el nivel de agua en esta cubeta, lo primero que verificaremos es que no tenga hoyos la cubeta porque si no se escapará el agua...

En la misma medida, se debe cuidar el aislamiento del edificio. El tipo de aislante instalado es importante. Si el aislante de las paredes de un edificio no es adecuado o de un espesor insuficiente, la temperatura de radiación de las paredes se elevará mucho en caso de una exposición significativa al sol, lo que provocará una sensación térmica incómoda. La temperatura ambiente de una oficina podrá ser agradable pero el trabajador no se sentirá bien si la pared al lado suyo se siente caliente. Verifique la temperatura de las paredes y converse con el personal al respecto.

También se debe cuidar que no existan puertas o ventanas abiertas hacia el exterior, corrientes de aire entre dos espacios a temperatura diferente, el taller y la oficina por ejemplo. Observe estas condiciones.

Resulta evidente que una corriente de aire transporta el calor del lugar más caliente al más fresco, esta situación obliga al sistema de aire acondicionado a trabajar más para compensar estas pérdidas de “frío” o ganancias de calor. Pero también, es importante considerar que una corriente de aire (velocidad del aire > 0.2 m/s) provoca una sensación térmica incómoda para los usuarios.

### 4.1.2 Radiación solar

Como hemos visto, un punto importante para reducir el funcionamiento de los equipos de aire acondicionado es limitar las aportaciones solares a través de las ventanas, puertas o cualquier apertura.

Al respecto, anote durante el recorrido:

- La orientación general del inmueble y en particular de las zonas climatizadas. ¿Reciben directamente los rayos del sol en algún momento del día?
- Si existe algún tipo de protección solar como persianas, cortinas, etc. que limitan dichas aportaciones.
- Las dimensiones de las ventanas o puertas por donde entra el calor así como el tipo de material.

### 4.1.3 Condiciones de confort

Recordemos que la motivación principal para limitar la temperatura interior de los espacios es mejorar las condiciones laborales de los ocupantes y por consecuencia el desempeño y productividad de los trabajadores.

La temperatura interna óptima, según ASHRAE, es de máximo 6°C debajo de la temperatura exterior. Investigue con los ocupantes de los espacios climatizados sus quejas en cuanto al confort percibido. Pueden existir varias fuentes de molestias:

- Diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura de las paredes o la temperatura del piso o plafón
- Corriente de aire
- Nivel de humedad
- Focos de calor internos excesivos como la iluminación, los sistemas de disipación de calor de los equipos informáticos, algún equipo como horno, refrigerador, etc. puede crear un desbalance de temperatura interna.

Observe que están instalados ventiladores como “complemento” del sistema de aire acondicionado.

Figura 135 Ventilador de apoyo



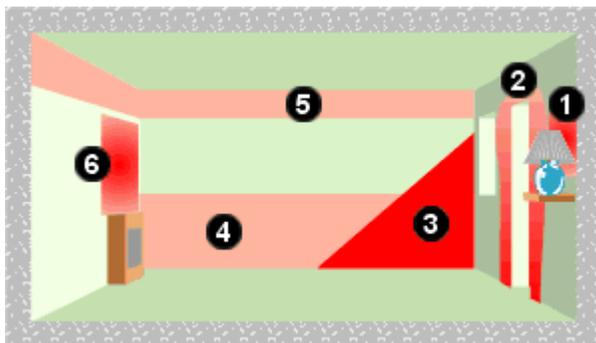
#### 4.1.4 Horarios de ocupación

Soliciten los horarios de ocupación de los espacios y diferencien según las zonas climatizadas. Por ejemplo, los horarios de ocupación de las oficinas son generalmente diferentes a los horarios de producción del taller. Será importante anotar las necesidades y horarios de cada uno, para operar los equipos de manera diferenciada.

#### 4.1.5 Ubicación de los termostatos

Verificar la ubicación de los termostatos. Un termostato ubicado cerca de una ventana donde da el sol o, al contrario, un termostato ubicado al lado de la rejilla de impulsión de aire dará una información incorrecta sobre las condiciones ambientales.

Figura 136 Ubicación de termostato



1. demasiado cerca de una fuente de calor
2. demasiado cerca de la puerta donde entra aire exterior
3. bajo el efecto del sol
4. demasiado bajo (el aire caliente sube y el aire frío baja)
5. demasiado alto (el aire caliente sube y el aire frío baja)
6. demasiado cerca de la impulsión de aire del sistema

La ubicación de los termostatos influye también en la percepción de la sensación de confort de parte de los ocupantes. Existen los dos escenarios posibles según el tipo de ocupantes:

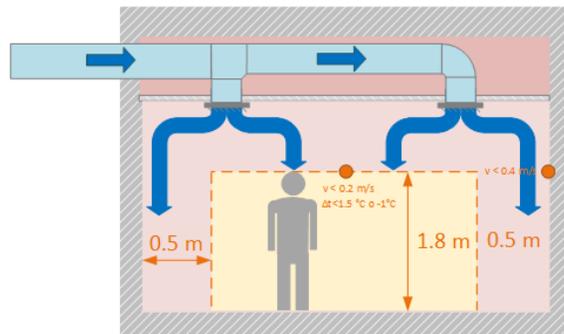
- Si el personal se queja mucho de la temperatura, al poner el termostato en un lugar visible donde el personal pueda claramente ver los valores de temperatura puede ayudar a disminuir las quejas.
- Al contrario, si el termostato está en un lugar muy accesible, puede provocar que cada ocupante quiera manipular las temperaturas de consigna hasta llegar a “su” temperatura de confort, que puede ser diferente de un usuario a otro.

#### 4.1.6 Ubicación de las rejillas

La sensación de confort térmico es asimismo vinculada con la ubicación de las rejillas de impulsión de aire “frío” y de retorno de aire “caliente”.

Generalmente la temperatura del aire impulsado en la zona de ocupación a enfriar está entre 5 y 8 °C más baja que la temperatura ambiente. Por lo cual, la mezcla entre aire “frío” y aire ambiente debe hacerse de manera uniforme para evitar las molestias y la sensación de corriente de aire frío. Si esta rejilla está ubicada cerca los puestos de trabajo, las molestias se incrementarán. La figura siguiente muestra las reglas generales de ubicación y condiciones de funcionamiento de las rejillas de impulsión.

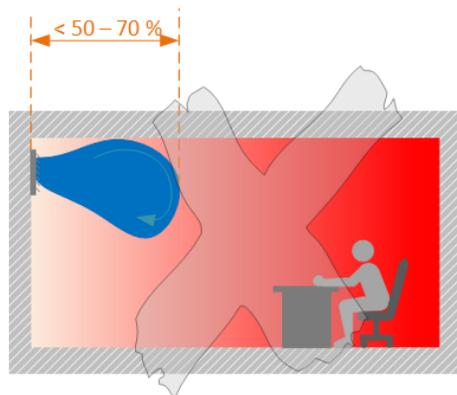
Figura 137 Ubicación de rejillas de impulsión



Anote los inconvenientes encontrados en el caso estudiado, como por ejemplo:

- Rejillas de impulsión demasiado cercanas, lo que provoca que el flujo de aire frío se dirige hacia el piso antes de mezclarse correctamente con el ambiente.
- Obstáculos físicos a la buena circulación del aire impulsado.
- Diferencia de temperaturas demasiado importante entre el aire impulsado y el aire ambiente.

Figura 138 Ineficiencia en la impulsión del aire frío



## 4.2 Regulación de las instalaciones

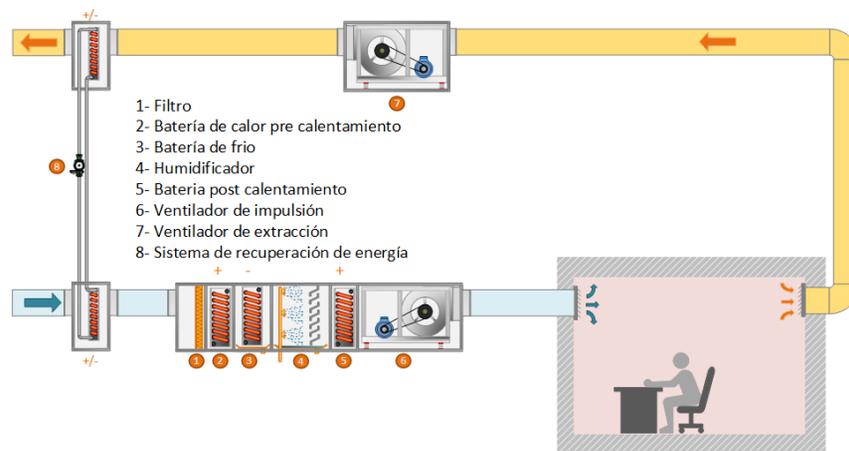
La regulación actual del sistema juega igualmente un papel fundamental en las oportunidades de mejora energética. En este apartado, se analizará que elementos del sistema de regulación debe ser analizado por el consultor.

### 4.2.1 Renovación de aire

Identifique si una parte del aire extraído del local es reciclado por el sistema de aire acondicionado. Retornar una parte del aire del local permite alcanzar más rápidamente la temperatura de consigna y por lo tanto, un funcionamiento menor del sistema de aire acondicionado. Podemos hacer la analogía con el sistema de climatización de los coches, al hacer recircular el aire del coche, se enfría más rápido el interior del vehículo.

Evalúe si es posible enfriar el aire exterior con el aire rechazado. En efecto, esta técnica permite aprovechar la energía "frigorífica" contenida en el aire que se va a rechazar al medio ambiente.

Figura 139 Aprovechamiento térmico del aire rechazado



## 4.2.2 Control de temperaturas y humedad

Anote la temperatura de consigna y de humedad del sistema.

Evalúe si es posible diferenciar una temperatura de consigna por cada zona a climatizar según los circuitos de distribución. Permitirá afinar la regulación según las necesidades reales de cada local, su ocupación, los horarios, etc.

Investigue cómo se realiza la regulación de temperatura y humedad:

- Se fija una temperatura de consigna (¿la misma para cualquier hora del día o del año?)
- El personal puede ajustar las condiciones interiores deseadas (temperatura y humedad)
- La regulación toma en cuenta las condiciones exteriores (humedad, temperatura)

## 4.2.3 Horarios de funcionamiento

Pregunte los horarios de funcionamiento de los diferentes equipos de aire acondicionado.

Compare estos horarios con los horarios de ocupación de los diferentes espacios. Es innecesario climatizar un local que no está ocupado. Verifique en particular que se apaguen los sistemas de aire acondicionado al final de la jornada laboral, durante la noche o los fines de semana o días festivos.

## 4.2.4 Sistemas de gestión

Revise si existe un sistema de gestión y, en caso de que si, cuál es su función:

1. monitorear los parámetros claves de la instalación (temperatura, humedad, caudal, etc.),

2. actuar sobre ciertos parámetros con un control manual (horarios de encendido y apagado de equipos, definición de temperatura de consigna)
3. actuar de manera automática sobre el funcionamiento de la instalación (encendido y paro de equipos, apertura de válvulas, etc.) a partir de la medición de ciertas variables (temperatura y humedad exterior, temperatura y humedad interna, flujo de aire, etc.)

Investigue con el personal si se aprovecha la temperatura exterior más fresca en las noches para enfriar los espacios (ver explicación free-cooling en sección 4.4.5.1).

## 4.3 Características técnicas del sistema

### 4.3.1 Presencia de fugas

Verificar que la ductería de aire “frío” no tenga fugas (se puede detectar por el ruido o por la presencia de polvo en las conexiones o depositando un producto jabonoso en la superficie).

En caso de un sistema con circulación de agua helada, de la misma manera identifique la ausencia de fugas de agua.

### 4.3.2 Aislamiento

Los ductos de aire “frío” así como las tuberías de agua helada deben estar aislados adecuadamente.

Figura 140 Aislamiento de ducto de aire



Figura 141 Aislamiento de tubería de agua helada



### **4.3.3 Mantenimiento**

Los sistemas de aire acondicionado como todas las instalaciones requieren de un mantenimiento preventivo adecuado para asegurar la vida útil de los componentes y por ende el rendimiento energético de la instalación.

Verifique que las instalaciones cuenten con un programa de revisión (bitácora, check-list, etc.) y de mantenimiento preventivo (rutinas mensuales, anuales, etc.) y valide que se lleven efectivamente a cabo.

Durante el recorrido de las instalaciones, evalúe el estado de los diferentes componentes y anote cualquier deterioro evidente: aislamientos dañados, fugas de agua, manchas de aceite, tubos o ductos aplastados, filtros saturados.

Revise el funcionamiento también de los equipos de medición (termómetro, manómetro, etc.).

Identifique si existen vibraciones o ruidos excesivos. Esto puede provenir del desgaste de las piezas en movimiento. Conversar con el personal de mantenimiento, sobre los mantenimientos correctivos y reparaciones previamente realizadas.

### **4.3.4 Antigüedad**

Preguntar al personal por la antigüedad de la instalación o ver en la placa de los equipos el año de fabricación.

Si los sistemas de aire acondicionado tienen una antigüedad mayor a 10 años, una vía de mejora al nivel energético consiste en reemplazarlos por equipos nuevos. Las tecnologías evolucionan constantemente mejorando la eficiencia de los equipos.

### **4.3.5 Gas refrigerante**

Preguntar por el gas refrigerante utilizado en los equipos o bien verificar este dato en la placa del equipo.

Durante el recorrido de las instalaciones, verificar el adecuado volumen de refrigerante en el sistema. En efecto, un bajo volumen provoca un sobreconsumo importante de electricidad del sistema.

### **4.3.6 Sobredimensionamiento**

Muchas instalaciones de aire acondicionado son sobredimensionadas en comparación a las necesidades reales.

El ratio de 100 W/m<sup>2</sup> de espacio a climatizar puede dar una primera estimación de la potencia demandada. En las instalaciones grandes, este valor debe ser multiplicado por un factor 70% para tener en cuenta las no simultaneidades de las necesidades.

Para evaluar la potencia instalada requerida, se debe multiplicar el valor de la potencia demandada por un factor de 1.1 o 1.2, para tener suficiente reserva para enfrentar picos de calor por ejemplo o paro de algún equipo por mantenimiento o reparación.

### 4.3.7 COP

El COP refleja el rendimiento energético del sistema de refrigeración (reportarse a la sección 1.3.1.3.1 para ver como evaluarlo). Si la instalación cuenta con equipos de medición como manómetros, termómetros,... se puede medir el COP del sistema en funcionamiento y compararlo contra el COP teórico. El COP teórico se calcula a partir de los datos de placa y de la información disponible en el manual del fabricante o en internet.

En la tabla siguiente, se relacionan algunos valores de COP estándar.

Tabla 8 Valor de referencia del COP

Tipo de equipo	COP min. (kW <sub>frigo</sub> /kW <sub>elec</sub> )
<b>Equipos ventana</b>	2,8
<b>Split:</b> < a 1 TR > a 1 TR	2,8 3,0
<b>Paquetes (roof top)</b> <i>Enfriado por aire</i> < a 30 TR > a 30 TR <i>Enfriado por agua</i>	2,5 2,9 3,5
<b>Chiller (compresor a pistón)</b> <i>Enfriado por aire</i> < a 30 TR > a 30 TR <i>Enfriado por agua</i> < a 30 TR > a 30 TR	3,0 3,0 3,7 4,0
<b>Chiller (compresor tornillo)</b> <i>Enfriado por aire</i> <i>Enfriado por agua</i> < a 220 TR > a 220 TR	4,5 4,6 5,0

<b>Chiller (compresor centrífugo)</b>	
<i>Enfriado por aire</i>	
< a 220 TR	3,8
> a 220 TR	3,8
<i>Enfriado por agua</i>	
< a 220 TR	4,5
> a 220 TR	4,7

Estos valores aplican para condiciones de climatización siguientes:

1. Sistemas enfriados por aire: temperatura interior de 27°C y 50% de Humedad Relativa (HR); temperatura exterior de 35°C en bulbo seco y 24°C en bulbo húmedo.
2. Sistemas enfriados por agua: temperatura de impulsión / retorno de agua helada de 6.7°C/12.2°C. Temperatura de entrada y salida del condensador 29.4°C/35°C.

Estos valores solamente representan el COP del compresor. Para calcular el COP de la globalidad del sistema, habrá que considerar también los consumos eléctricos de los ventiladores, bombas, torres de enfriamiento. Para ilustrar esto, considere un COP óptimo de 4.8 en régimen de 7°C/11°C. Este COP baja a 3.9 cuando se consideran el consumo de los equipos auxiliares. Si cambiamos el régimen de funcionamiento a 5°C/11°C, el COP pasa a 3.7 (baja 2°C al evaporador, por lo tanto 6% de rendimiento).

## 4.4 Componentes del sistema de aire acondicionado

### 4.4.1 Compresor

Observe el funcionamiento del compresor y pregunte al personal operativo la frecuencia de arranques y paros de este equipo así como su el tiempo de funcionamiento.

Un incremento en el tiempo de funcionamiento del compresor refleja:

- O una falta de refrigerante,
- O una falta de mantenimiento en el evaporador y/o condensador (serpentín sucio),
- O un mal funcionamiento del compresor

Un incremento en la cantidad de arranques y paros del compresor se debe a:

- La suciedad del serpentín del condensador,
- O fugas de refrigerante,
- O mala alimentación en refrigerante de parte de la válvula de expansión

Tanto un incremento en el tiempo de funcionamiento el compresor como en la cantidad de paros y arranques produce un incremento en el consumo de energía eléctrica, por lo que se debe investigar el origen de este funcionamiento inadecuado.

#### 4.4.2 Condensador

Como se ha descrito en la primera parte de este documento, existen sistemas enfriados por aire y sistemas enfriados por agua.

En ambos casos, estos equipos deben estar ubicado en un lugar ventilado, donde pueda desechar el aire y obtener el aire de repuesto, lo más fresco posible. Por lo mismo, es recomendable instalarlos en zonas protegidas de la radiación solar.

Figura 142 Ubicación de condensador



##### 4.4.2.1 Aerorefrigeradores

Verifique que el condensador este limpio y no tenga algún elemento que obstruya el paso del aire libremente como hojas, polvo sobre el serpentín o una malla metálica aplastada.

Verifique también el funcionamiento del ventilador y si funciona con variador de velocidades.

Si se puede, mide o anote la presión. Si registra una presión alta (contra la presión normal de trabajo del equipo) puede significar que haya obstrucción o suciedad dentro del condensador, del lado del refrigerante y requiera de mantenimiento.

##### 4.4.2.2 Torre de enfriamiento

El circuito de agua de la torre de enfriamiento debe ser cerrado. Si el agua de enfriamiento se tira al drenaje, evalúe la factibilidad de recuperarla o instalar un circuito cerrado de enfriamiento.

Como para el aerorefrigerador, valide que el intercambio de calor se realice sin obstrucción y sin incrustación. Pregunte por el tratamiento de agua aplicado, cuando se realizó el último, verifique los parámetros medidos (dureza, contenido de sales, etc.) contra los establecidos.

### **4.4.3 Evaporador**

Cuando existen varios espacios con necesidades diferentes (horarios, temperaturas) en un mismo inmueble, es recomendable separar los circuitos o sistemas de climatización. Una sala de junta podrá tener su propio equipo de climatización si éste solamente se prende de vez en cuando, en lugar de estar contemplado en la instalación centralizada.

Del lado exterior, verifique que el equipo este limpio, libre de polvo, sin que ningún elemento que obstruya el paso del aire y que el aire “enfriado” pueda circular por toda el espacio a climatizar.

Compruebe si hay escarche en el evaporador, es la señal de que los filtros del evaporador están sucios.

### **4.4.4 Regulación**

Evalúe si los equipos como las bombas de recirculación de agua (circuito de agua helada, circuito de la torre de enfriamiento), los ventiladores del condensador, los compresores cuentan con variadores de frecuencia.

## **4.5 Verificaciones del adecuado funcionamiento**

### **4.5.1 Diferencia: temperatura de evaporación y temperatura de agua a la salida**

En instalaciones centralizadas, si la diferencia entre la temperatura de evaporación y la temperatura de agua a la salida del evaporador es superior a 7°C, muestra que hace falta realizar mantenimiento o bien que el evaporador está subdimensionado.

Medir la temperatura de evaporación puede resultar complicado. Para tener una estimación de la misma, se toma el valor de la presión a la entrada del compresor, leyendo el manómetro, la cual corresponde a la presión de evaporación y se traduce en temperatura de evaporación de acuerdo a las características del refrigerante utilizado.

A continuación, presentamos algunos valores de referencia:

Figura 143 Correspondencia temperatura y presión de evaporación

Temperatura [°C]	Presión relativa [bar]			
	R22	R134A	R404A	R407c
- 30	0,64	0,08	1,07	1,36
- 20	1,43	0,31	2,05	1,79
- 18	1,62	0,43	2,30	2,02
- 16	1,83	0,56	2,56	2,25
- 14	2,05	0,69	2,82	2,50
- 12	2,28	0,84	3,09	2,77
- 10	2,52	0,99	3,39	3,05
- 8	2,78	1,15	3,69	3,34
- 6	3,05	1,33	4,01	3,65
- 4	3,33	1,51	4,36	3,98
- 2	3,63	1,71	4,63	4,32
0	3,95	1,91	5,09	4,68
2	4,28	2,13	5,59	5,06
4	4,63	2,36	5,89	5,46

#### 4.5.2 Diferencia: temperatura de condensación y temperatura entrada de aire o agua

De la misma manera que para la evaporación, podemos deducir el nivel de incrustación del serpentín del condensador a partir de la medición de la temperatura de agua o aire a la entrada del condensador y de la presión del refrigerante a la salida del compresor.

A continuación, se relacionan, para diferentes refrigerantes, la temperatura y la presión de condensación. En ciertos manómetros, existe la doble lectura temperatura-presión del refrigerante.

**Figura 144 Correspondencia temperatura y presión de condensación**

Temperatura [°C]	Presión relativa [bar]			
	R22	R134A	R404A	R407c
16	7,10	4,01	8,80	8,27
18	7,58	4,34	9,3	8,81
20	8,08	4,68	10	9,38
25	9,42	5,61	11,6	10,91
30	10,91	6,66	13,3	12,60
35	12,55	7,82	15,2	14,46
40	14,35	9,11	17,3	16,50
45	16,33	10,53	19,6	18,75
50	18,49	12,10	22	21,20
55	20,84	13,83	24,8	23,87
60	23,40	15,73		26,78
65	26,17	17,80		29,94

#### **4.5.2.1 Condensador a aire**

La diferencia entre la temperatura de condensación y la temperatura de entrada de aire a la entrada del condensador no debe exceder 15 a 20°C a plena carga. A cargas parciales, esta diferencia de temperatura debe disminuir proporcionalmente.

Si este rango está rebasado, podemos suponer incrustaciones al nivel del condensador y por lo tanto, la necesidad de un mantenimiento mayor.

#### **4.5.2.2 Condensador a agua**

De la misma manera, la diferencia entre la temperatura de condensación y la temperatura de agua a la salida del condensador no debe exceder 6 a 10°C a plena carga. En caso contrario, es señal de se requiere realizar el mantenimiento preventivo del condensador.

#### **4.5.3 Medición de niveles**

Verifique los siguientes niveles:

- Nivel de refrigerante en el tanque de líquidos al nivel de los separadores de baja y mediana presión
- Nivel de aceite en el sistema de alimentación del compresor
- Nivel de agua en la charola de la torre de enfriamiento

Controle también la calidad del refrigerante en el dispositivo correspondiente. No debe haber burbujas. Si existen, señala una falta de refrigerante y probablemente una fuga en algún lado del circuito.

**Figura 145 Mirilla Indicadora de Líquido**



Controle finalmente la presencia de humedad en el circuito. Esta modifica el color del dispositivo “dry = seco”, “wet=húmedo”

**Figura 146 Indicador de Humedad**



## 5 FORMATO DE RECOPIACIÓN DE DATOS

Se propone utilizar el siguiente formato para recolectar los datos indicados en la sección anterior, durante el recorrido de las instalaciones y la entrevista con el personal de la PyME.

### FORMATO DE RECOPIACIÓN DE DATOS SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO

Razón social \_\_\_\_\_  
Fecha del taller de Eficiencia Energética \_\_\_\_\_

#### I. Condiciones generales de funcionamiento

I.1 Tecnología

Equipo ventana  
 Equipo mini-split  
 Paquete / roof top  
 Chiller enfriado por agua  UMA  
 Chiller enfriado por aire  Fan&Coil  
 Chiller de precisión  
 otro, precisar \_\_\_\_\_

I.2 Características constructivas Comentarios: \_\_\_\_\_  
 Temperatura de las paredes?  
 Normal  
 Caliente

Existen puertas y ventanas que se dejan abiertas? Comentarios: \_\_\_\_\_  
 Si  
 No  
 En caso de que si, indique si se siente corriente de aire  Si  No Donde: \_\_\_\_\_

I.3 Radiación solar  
 Orientación del edificio?  
 Existe protecciones solares (persianas, cortinas)?  Si  No  
 En caso de que si, favor de indicar: \_\_\_\_\_  
 Medidas de las ventanas y puertas: completar la siguiente tabla

Medidas de ventanas	Ventana 1	Ventana 2	Ventana 3	Ventana 4	Ventana 5	Ventana 6	Ventana 7
Largo							
Ancho							
Alto							

Medidas de puertas	Puerta 1	Puerta 2	Puerta 3	Puerta 4	Puerta 5	Puerta 6	Puerta 7
Largo							
Ancho							
Alto							

I.4 Condiciones de confort de los ocupantes Comentarios \_\_\_\_\_  
 Utilizan ventiladores de apoyo en las áreas?  Si  No  
 Converse con el personal para conocer sus quejas \_\_\_\_\_

I.5 Horarios de ocupación Anotar los horarios de ocupación de cada área específica de la planta

Horario de operación por día	<Área 1>	<Área 2>	<Área 3>	<Área 4>	<Área 5>	<Área 6>	<Área 7>
Lunas a viernes							
Sábado							
Domingo							

I.6 Ubicación de los termostatos Comentarios \_\_\_\_\_  
 La ubicación está en un lugar adecuado? (no en el sol o corriente de aire, etc.)  Si  No  
 El medidor está ubicado en un lugar visible?  Si  No  
 Quien puede modificar las temperaturas y humedad de consigna? \_\_\_\_\_

**I.7 Ubicación de las rejillas**

La ubicación de las rejillas de impulsión y retorno está en un lugar adecuado?

Si  No

Comentarios

\_\_\_\_\_

**II. Regulación**

**II.1 Renovación de aire**

Una parte del aire extraído es recirculado?

Si  No

Comentarios

Es posible enfriar el aire impulsado al área con el aire rechazado?

Si  No

\_\_\_\_\_

**II.2 Control de temperaturas y humedad**

Indicar las temperaturas y humedad de consigna:

	<Área 1>	<Área 2>	<Área 3>	<Área 4>	<Área 5>	<Área 6>	<Área 7>
Lunas a viernes							
Sábado							
Domingo							

Como se realiza la regulación?

- Se fija una temperatura de consigna (la misma para cualquier hora del día o del año?)  Si
- El personal puede ajustar las condiciones interiores deseadas (temperatura y humedad)  Si
- La regulación toma en cuenta las condiciones exteriores (humedad, temperatura)  Si

Si  
 Si  
 Si

**II.3 Horarios de funcionamiento**

Indicar los horarios de funcionamiento de cada equipo

Horarios	<Equipo 1>	<Equipo 2>	<Equipo 3>	<Equipo 4>	<Equipo 5>	<Equipo 6>	<Equipo 7>
Lunas a viernes							
Sábado							
Domingo							

Se apagan los equipos durante la noche?

Si  No

Comentarios

Se apagan los equipos durante los fines de semana, días festivos, etc.?

Si  No

\_\_\_\_\_

**II.4 Sistema de gestión**

Existe un sistema de gestión?

En caso de que si, cuál es su función?

- Monitorear los parámetros claves de la instalación (temperatura, humedad, caudal, etc.).
- Actuar sobre ciertos parámetros con un control manual (horarios de encendido y apagado, definición de temperatura de consigna)
- Actuar de manera automática sobre el funcionamiento de la instalación a partir de la medición de ciertas variables

**II. Levantamiento de los componentes del sistema**

**II.1. Características técnicas**

Comentarios

Tipo de gas refrigerante: \_\_\_\_\_

Antigüedad de la instalación? \_\_\_\_\_

Superficie a climatizar? (m<sup>2</sup>) \_\_\_\_\_

Verificar mirilla indicadora de líquido para validar la calidad y cantidad de refrigerante:

Nivel de refrigerante adecuado?  Si  No

Presencia de burbujas?  Si  No

Indicador de humedad: existe humedad?  Si  No

Hay presencia de fugas en los ductos de aire?  Si  No

Hay presencia de fugas en la tubería de agua  Si  No

Los ductos de aire "frío" están aislados?  Si  No

Las tuberías están aisladas?  Si  No

La instalación cuenta con equipos de medición?  Si  No

Estos equipos de medición están en buen estado?  Si  No

Existe un programa de mantenimiento?  Si  No

Se realiza periódicamente?  Si  No

Consulte las bitacoras y programas de mantenimiento realizado en el último año.

Anote las fechas de los últimos servicios de mantenimiento preventivo mayor anual (limpieza de serpentines)

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Sistemas de Aire Acondicionado – Tutorial para el trabajo en campo  
5. Formato de recopilación de datos

II.2. Emisores de aire

<b>Sección de filtración</b>		Los filtros están sucios?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No	Comentarios _____
<b>Sección de ventilación</b>		Datos de placa del ventilador	Potencia _____ R.P.M. _____		
<b>Sección aire nuevo</b>		Se hace free-cooling ?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No	_____
Es decir se aprovecha la temperatura exterior más fresca durante las noches para enfriar las áreas?					
En caso de que si:	Como se controla la entrada de aire exterior?	<input type="checkbox"/> Motorizado	<input type="checkbox"/> Manual	% de apertura:	_____
	Como se controla el retorno de aire extraído?	<input type="checkbox"/> Motorizado	<input type="checkbox"/> Manual	% de apertura:	_____

II.3. Compresor

Completar la tabla siguiente con los datos de cada equipo

#	Tipo (pistón, scroll, etc.)	Capacidad	Unidad	Rendimiento (%)	Carga (%)	Temp. de op. (°C)	Antigüedad (años)	COP
1								
2								
3								
4								
5								
6								

Apuntar los siguientes parametros de funcionamiento de cada equipos

#	Equipo	Presión de entrada (bar)	Presión de salida (bar)	temperatura entrada de gases (°C)	temperatura salida de gases (°C)	cuenta con sistema de regulación?	En caso de que si, de que tipo?	Comentarios generales sobre el estado de los equipos
1								
2								
3								
4								
5								
6								

Compruebe el estado del compresor

Nivel de aceite del carter adecuado ?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No	Comentarios _____ _____ _____ _____
Existen fugas de aceite	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No	
Presencia de ruido anormal?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No	
Presencia de vibración?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No	
Pregunte al personal si:			
Se ha incrementado el tiempo de funcionamiento?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No	
Se ha incrementado la frecuencia de arranques?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No	_____

II.4. Condensador

Temperatura de aire o agua a la entrada (°C)	_____		
En el último año, se realizó la limpieza del serpentín?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No	
Fecha:	_____		
Comentarios sobre estado _____			
<input type="checkbox"/> Por aire			
El equipo está ubicado en un lugar ventilado?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No	_____
Existe obstrucción del paso del aire?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No	_____
Las aletas del serpentín están en buen estado?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No	_____
Funciona adecuadamente el ventilador?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No	_____
Vibración excesiva o ruido anormal del ventilador?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No	_____
Se realizó mantenimiento al ventilador?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No	_____
El ventilador es de veolicidad variable?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No	_____
<input type="checkbox"/> Por agua			
Se realiza el tratamiento de agua?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No	_____
En caso de que si, fecha del último?	_____		
Parametros en rangos adecuados?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No	_____
Funcionamiento con circuito cerrado?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No	_____
Recuperación de calor:			
Existe necesidades de agua caliente?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No	_____
En caso de si, a que temperatura	_____		
En caso de si, son simultaneas al uso del sistema de aire acondicionado?	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No	_____

II.5. Evaporador

Temperatura de aire a la salida (°C) \_\_\_\_\_

En el último año, se realizó la limpieza del serpentín?  Sí  No

Fecha: \_\_\_\_\_

Existe obstrucción del paso del aire?  Sí  No

Las aletas del serpentín están en buen estado?  Sí  No

Funciona adecuadamente el ventilador?  Sí  No

Vibración excesiva o ruido anormal del ventilador?  Sí  No

Se realizó mantenimiento al ventilador?  Sí  No

El ventilador es de velocidad variable?  Sí  No

Comentarios sobre estado

---

---

---

---

---

---

II.6. Válvula de expansión

De que tipo es?  Termostática  Electrónica

Medir la temperatura del refrigerante a la entrada (°C) \_\_\_\_\_

---

## 6 MEJORAS ENERGÉTICAS

### 6.1 Introducción

En este apartado, se presentan una serie de mejoras que se pueden llevar a cabo en el conjunto de las instalaciones de climatización, para limitar y reducir el consumo de energía asociado a su funcionamiento.

Por lo tanto, trataremos cada una de ellas, de forma independiente con el fin de poder determinar el ahorro obtenido por su implantación:

- Limitar las necesidades
- Mejorar las instalaciones
- Mejorar el ciclo de producción
- Organizar el mantenimiento

### 6.2 Limitar las necesidades

En este capítulo, abordaremos una serie de pautas para limitar las demandas de climatización en locales, de tal forma que el consumo energético se vea reducido.

#### 6.2.1 Protección solar

Si la entrada de la radiación solar en una zona permite mejorar su ambiente en periodos de invierno, en verano esa energía provoca sobrecalentamientos importantes que generan un sobre consumo del equipamiento de climatización como discomfort de los usuarios. Por lo tanto el poder incorporar un sistema de protección solar que se ajuste a las necesidades del recinto y periodo resulta interesante.

Existen multitud de tipos de protección solar:

- Permanentes (Acrilamientos especiales, películas protectores),
- Fijas (Salientes)
- Móviles (Persianas y toldos).

La selección de este tipo de protección debe realizarse en base a la exposición y orientación del acristalamiento, permitiendo disponer de la luminosidad deseada y reducir en casos concretos la carga térmica.

El principal indicador de la eficacia de una protección solar es el factor solar, que representa la fracción de energía incidente que pasa a través de la protección solar y el acristalamiento.

## **6.2.2 Disminuir las cargas térmicas internas**

### **6.2.2.1 Aportaciones por los ocupantes**

El ser humano aporta calor sensible ya que nuestro cuerpo se encuentra a una temperatura de 37°. Además de este calor sensible, las personas emiten calor latente a través de la respiración y sudoración. Las cantidades de emisiones dependen de la temperatura ambiente y las actividades que se realizan.

En vista de que las aportaciones por las personas dependen de dos factores que son la temperatura ambiente y la actividad realizada, se podrá interior en las condiciones ambientales, teniendo que ajustarse a unas consignas de temperatura acordes a las recomendaciones ASHRAE.

### **6.2.2.2 Aportaciones de los procesos y equipamientos**

Toda carga eléctrica representa un doble gasto económico energético, ya que se paga por el uso original y se asume el costo de la potencia de climatización necesaria para combatir esas aportaciones caloríficas.

Por lo tanto, es importante comprender que cuanto menos energía consuman nuestros equipos y equipamientos, menor costo se deberá desembolsar en cuanto a climatización se refiere.

Por ello, es previsible intentar minimizar esas aportaciones realizando simples cambios en los equipamientos:

- Cambio de luminarias de baja eficiencia por equipos de bajo consumo
- Seleccionar equipamientos de clasificación energéticas elevadas

La rentabilidad de esos cambios de equipamientos será mejorada no solo por su alta eficiencia sino por la disminución del consumo energético de la climatización.

### **6.2.2.3 Disminuir las aportaciones de calor ligadas a la iluminación**

La mayor parte de la energía eléctrica consumida por la iluminación es disipada bajo forma de calor en el ambiente interior, por radiación, convección o conducción. Además, en los edificios térmicamente eficaces, las luminarias que emiten mucho infrarrojos, independientemente del sobreconsumo eléctrico, participan a la generación de sobrecalentamientos.

### 6.2.2.3.2 Potencia instalada

La potencia calorífica disipada por la iluminación equivale a la potencia de las lámparas instaladas. Para las lámparas fluorescentes, se deberá además tener en cuenta de los balastos que pueden sumar de 10 a 20% de la potencia de la lámpara.

### 6.2.2.3.3 Tipo de lámpara

Toda la energía consumida por las luminarias es transformada en calor por:

- Conducción (sólidos)
- Convección (gases y líquidos)
- Radiación (luz y otros tipos de radiación como el infrarrojo)

En función de la tipología de luminaria considerada, el reparto de estas aportaciones será diferente. Es indispensable tener en consideración estos repartos para evitar elevaciones de temperatura muy importantes.

Dos características permiten seleccionar correctamente la tipología de las luminarias a utilizar:

- El rendimiento de las luminarias: fracción de la cantidad de energía transformada en luz. Aumentar la eficacia del sistema permite limitar la potencia instalada y por lo tanto las aportaciones de calor.
- La composición del espectro de emisión: se deberán seleccionar luminarias cuyo espectro dispone de una débil proporción de energía térmica infrarroja frente a la parte útil de energía luminosa.

Para evitar una aportación calorífica muy importante, se realizara sistema de iluminación a partir de tubos fluorescentes.

#### 6.2.2.3.3.1 Luminarias incandescentes

Este tipo de lámparas emiten radiación infrarroja importante (en torno a 75% de la potencia de la lámpara). Como los infrarrojos y rayos luminosos se reflejan al mismo tiempo, las lámparas con reflector y proyectos intensivos van a producir elevaciones de temperatura muy importante en el eje del haz de luz.

Las luminaria con radiación dirigida (dicroicas) limitan esa radiación infrarroja directa. El espejo de estas luminarias que es concebido para reflejar esta luz, es transparente para la radiación infrarroja indeseable. Cuando se utilizan este tipo de lámparas, se debe tener en cuenta que la luminaria utilizada es susceptible de alojarlas ya que pueden provocar calentamientos suplementarios del socket, del cableado y de la parte trasera del equipo.

La disipación de radiación infrarroja de este tipo de lámparas la hace ser una fuente luminosa poco eficaz y justifica su retira progresiva del mercado.

### 6.2.2.3.3.2 Lámparas fluorescentes y lámparas de descarga (alta presión)

Este tipo de lámparas emiten una muy débil proporción de rayos infrarrojos cortos. Sin embargo, los tubos de descarga de halogenuros metálicos y de sodio de alta presión emiten una cantidad importante de infrarrojos medios. En lo que a lámparas fluorescentes se refiere, se tendrá en cuenta únicamente los niveles de iluminación muy elevados que son los únicos que producen efectos térmicos directos notables.

Si el efecto calorífico de la radiación de este tipo de lámparas es relativamente bajo, la transformación de calor de la energía eléctrica consumida (lámpara y balastro) no debe ser infravalorada. La elevación de la temperatura de las paredes de la luminaria van a transformarse a la lámpara como emisor de infrarrojos largos susceptibles de influenciar el reparto térmico del local.

### 6.2.2.3.3.3 LED

Las LED no generan o muy poca radiación infrarroja o ultravioleta en el flujo luminoso. Es evidente que producen calor, pero en la parte trasera del equipo, lo que facilita su extracción. Por ello, se utilizan en locales cuyas actividades requieren de bajas temperaturas.

### 6.2.2.3.3.4 Balance energético de una serie de lámparas

A continuación se presenta una tabla con balances energéticos indicativos de una serie de lámparas.

Tabla 9 Tipo de emisión lámparas

Tipo de lámpara	Conducción y convección (%)	Radiación (%)		Radiación luminosa (%)	Potencia a instalar para 100 lm
		UV	IR		
Incandescente	15	-		10	10
Fluorescentes rectilíneas	71.5	0.5	*	28	1.4
Fluorescentes compactas	80	0.5	*	19.5	1.8
Halogenuros metálicos	50	1.5	24.5	24	1.3
Sodio de alta presión	44	-	25	31	1

\*En el caso de que las lámparas fluorescentes cuya superficie desarrollada es elevada, se podría separar la radiación infrarroja. Para las lámparas fluocompactas esta distinción es inútil.

#### 6.2.2.3.4 Influencia de la inercia del local

La inercia térmica de un local permite acumular parte del calor instantáneo disipado por las lámparas. Este fenómeno aunque sea de poca influencia (en torno al 10% para locales de fuerte inercia) será notable para lámparas de tipo incandescente ya que 90% es disipada bajo forma de radiación.

#### 6.2.2.3.5 Influencia del tipo de techo

En caso de disponer de alturas importantes bajo el techo, disminuye el impacto de las lámparas gracias a la estratificación de temperatura del local. (El aire caliente se acumula por encima de las zonas de ocupación). Este fenómeno se resiente principalmente (20% de reducción) para las lámparas fluorescentes (60% del calor es convectivo) y cuando se incorpora una extracción en el techo.

Un fenómeno similar se resiente cuando las luminarias están empotradas en los falsos techos que sirven de área de ventilación. Un aparte del calor emitido es extraído antes de que se concentre en la zona climatizada.

### 6.2.3 Free cooling natural

#### 6.2.3.1 Organizar el free cooling nocturno

En los edificios existentes, el free cooling puede hacerse a través de la ventilación natural, por medio de las aperturas de la fachada (ventanas, puertas, entre otras)

Figura 147 Ventilación natural individual de cada local

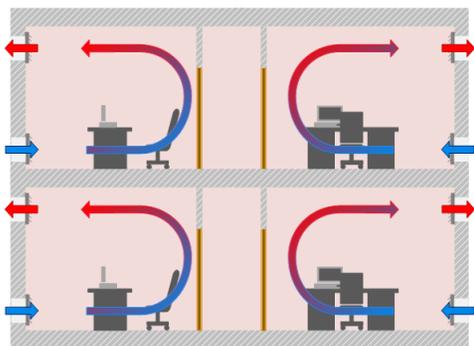
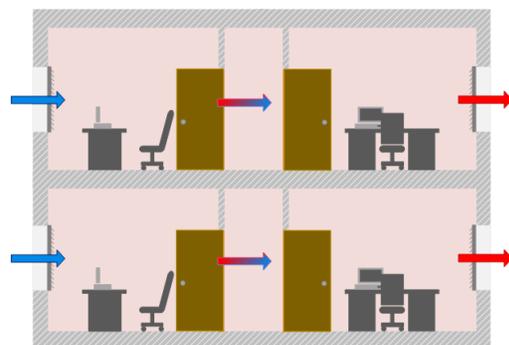


Figura 148 Ventilación natural transversal



Existen numerosas desventajas en llevar a cabo una ventilación nocturna intensiva, tales como:

- Se requiere que los usuarios participen
- Los riesgos de enfriar demasiado los locales
- La inercia térmica de los cerramientos

Para garantizar que el free-cooling nocturno resulte eficaz aun disponiendo de las anteriores inconvenientes, la ventilación natural podrá ser automatizada (apertura automática en base a las condiciones interiores).

Existen tecnologías económicas de apertura de ventanas que resultan de poca inversión y pueden ser instaladas sin grandes obras.

Resulta difícil, cuantificar el ahorro obtenido ya que depende de la tipología del, edificio, del modo de ventilación, del tamaño de las aperturas, y condiciones exteriores.

## **6.3 Mejorar el funcionamiento de los emisores**

### **6.3.1 Ubicación del termostato de ambiente**

La temperatura ambiente de la zona tratada es controlada por medio de un termostato de ambiente que actúa sobre el funcionamiento del compresor. El ventilador de impulsión puede ser controlado al mismo tiempo que el compresor, o bien disponer de un funcionamiento continuo. Este segundo modo de funcionamiento es más favorable a mantener las condiciones de confort ya que garantiza un movimiento continuo de aire y previene posibles estratificaciones de aire caliente y frío.

La ubicación del termostato de ambiente tiene una influencia importante sobre el consumo y el confort del usuario. Debe ser instalado en un lugar representativo de la temperatura media del local es decir alejado de toda fuente de calor o fría que perturbe esas mediciones.

Ubicarlo en el interior del local será más ventajoso que instalarlo en la toma de aire de recirculación.

#### **6.3.1.1 Ejemplo**

El termostato está instalado a la extremidad de una oficina en la zona de influencia del climatizador, pero alejado de la zona de ocupación. Cuando este equipo mide 28°C, la temperatura en la zona de ocupación es de 24°C. Los usuarios por lo tanto estarán tentados de

bajar la temperatura de consigna, provocando la caída de la temperatura interior y un sobre consumo eléctrico ligado al funcionamiento del climatizador.

El mando del termostato debe por lo tanto estar escalonado para ser representativo de un ambiente real.

La ubicación del mando del termostato y facilidad de manipulación jugará un rol sobre la gestión eficaz del ambiente por el usuario. Por ejemplo, si el mando se encuentra sobre el evaporador ubicado en el techo, el usuario no se molestará en ajustar la consigna de temperatura.

### **6.3.2 Programación de las horas de funcionamiento**

Al simple control de temperatura ambiente, se debe sumar, para garantizar un funcionamiento económico, funciones de programación de la ocupación, con paro y puesta en marcha anticipada de forma calculada e inteligente.

A falta de programación incorporada en el equipo, se puede instalar interruptores horarios sobre la alimentación eléctrica del equipo con objeto de evitar su uso durante tiempos de no ocupación tales como las noches o fines de semana.

### **6.3.3 Regulación de la temperatura de consigna:**

#### **6.3.3.1 Consigna compensada en base de la temperatura exterior**

En verano, la zona de confort corresponde a una temperatura de aire situada en un rango de 23°C a 26°C, para usuarios en ropa ligera de trabajo.

Idealmente, este climatizador debería poder aprovechar de una regulación de consigna compensada en base a la temperatura exterior. Esta relación, que es automática en las instalaciones completas de aire acondicionado, debe ser realizada de forma manual en los climatizadores.

Por lo tanto, un diferencial de 6°C máximo será mantenido, con objeto de evitar choques térmicos inconfortables en el momento de entrar y salir de la zona climatizada.

Esta acción en las pequeñas instalaciones recae al usuario, que deberá modificar de forma manual la consigna de temperatura en base a la exterior. Por razones de ahorro de energía y de confort, no se pueden y deben mantener condiciones de temperatura interiores fijas de 22°C, por ejemplo, si la temperatura exterior es 32°C. En ese caso, la temperatura de consigna debería ser ajustada a 26°C mínimo.

#### **6.3.3.2 Creación o aumento de la zona neutra**

Si el equipo de aire acondicionado es de tipo reversible. Será de suma importancia realizar una zona neutra de 2 a 3°C entre las consignas de calefacción y de enfriamiento, con objeto de evitar arranques y paros permanentes y aprovechar de la inercia térmica de las zonas.

### **6.3.4 Disminución del consumo por calor latente**

La carga térmica se presenta bajo dos aspectos: calor sensible y calor latente. En la mayoría de los casos, el 80% de la carga térmica corresponde a la energía sensible, quedando por lo tanto un 20% en carga latente.

La energía destinada a vencer ese calor latente consiste en la eliminación del agua contenida en el aire. Es el vapor de agua contenido en el aire que condensa cuando entra en contacto con la batería de frío (temperatura del fluido frigorífico < temperatura de rocío del ambiente). De ahí, La presencia de un desagüe para evacuar los condensados debajo de las baterías de frío.

#### **6.3.4.1 Ver la necesidad**

El confort térmico del ser humano es poco sensible a la humedad del aire, siempre y cuando la humedad relativa se situé entre 40% y 70%.

En verano, el funcionamiento del climatizador bajara el grado de humedad bajo el 70% lo que es favorable al confort del usuario. Pero el disminuir es valor por debajo de los 65% será costos y sin gran impacto en el confort global.

En invierno, se el climatizador funciona en modo frío para vencer posibles cargas térmicas de equipamientos u ocupación, se corre el riesgo de disponer de una humedad relativa interior situada por debajo de los 40%, provocando irritaciones en los ojos y garganta. Además de generar electricidad estática que puede resultar molesta para los usuarios y dañina para los equipos electrónicos. Por lo que, en estos casos, se recomienda la instalación de humidificadores de apoyo.

#### **6.3.4.2 ¿Se puede evitar?**

Un equipo cuyo tamaño del evaporador ha sido reducido al máximo funciona con temperaturas de fluido frigorífico muy bajas, provocando no solo sobre consumos eléctricos pero una deshumidificación muy importante del aire.

Cuando las aportaciones de calor que se deben cubrir provienen de aparatos, se tiene que sobredimensionar el evaporador frente al condensador. Por ejemplo, si las necesidades de frío son de 3.5 kW, podremos elegir un evaporador de 5kW.

Sin embargo, sobre un pequeño climatizador existente, resulta imposible modificar el modo de funcionamiento que es preestablecido en fábrica. Solamente se podrá llevar a cabo esas modificaciones, realizando un análisis exhaustivo de las condiciones interiores como de funcionamiento.

En caso de que se trate de un armario de climatización conectado a un circuito de agua helada, será posible intervenir aumentando la temperatura de consigna del agua helada.

### 6.3.5 Integrar aire fresco en el sistema de climatización

#### 6.3.5.1 El free-cooling mecánico:

De igual forma, es posibles integrar un sistema free cooling mecánico a través de ciertas instalaciones de climatización, poniendo en funcionamiento el sistema de ventilación en periodos nocturnos. Aunque se debe tener en cuenta que en ciertos casos, el consumo del equipo de ventilación cuesta lo mismo que poner en funcionamiento el sistema de climatización para evacuar el calor.

En la práctica, la ventilación tendría que arrancar cuando la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior es superior a los 5°.

Para que el free-cooling resulte interesante, se debe disponer de caudales de aire importantes que aseguren la renovación total del aire de las zonas a tratar. Todo ello, debido que solamente el aire exterior será el encargado de evacuar ese calor. Por ello, este tipo de instalación suele asociarse a instalaciones de “Todo aire”, ya que disponen de las características para poder llevar a cabo este free- cooling.

Figura 149 Equipo de climatización con ventilación integrada tipo Rooftop



Además, en los sistemas “Todo aire”, también se puede realizar el free cooling durante el día, Esto es posible cuando la temperatura exterior se sitúa por debajo que la temperatura interior,

permitiendo valorizar el aire exterior y evitando el arranque de los compresores. Para ello, la regulación tendrá que abrir las compuertas de aire exterior y cerrar las de recirculación.

### **6.3.5.2 Operar la ventilación higiénica en complemento de la climatización**

Se comprobó que el free-cooling nocturno reemplaza la climatización en ciertas condiciones. En edificios climatizados, equipados de sistemas independientes de ventilación, se puede llevar a cabo el free-cooling, a través de la puesta en marcha de esos ventiladores destinados a garantizar las condiciones de calidad de aire.

### **6.3.6 Mantenimiento regular del equipo de climatización**

La vida útil de un climatizador está ligada a la vida del compresor. Es evidente que cuanto menos funcione fuera de su rango de operación, más larga será su vida.

El rendimiento de un compresor decaerá si:

- La consigna de temperatura del local es demasiado baja frente a la temperatura de diseño (24°...26°)
- El caudal de aire en el evaporador es demasiado bajo, debido a la disminución de la velocidad del ventilador o por ensuciamientos tanto de filtros como del propio evaporador.

La presencia de escarche en el evaporador (debido a la caída de la temperatura del fluido refrigerante bajo 0 ° C) es el indicativo del ensuciamiento del filtro del evaporador.

- El caudal de aire en el condensador es demasiado débil, principalmente por causa del ensuciamiento de los filtros. En ese caso, el condensador no podrá evacuar el calor hacia el exterior, causando el aumento de la temperatura del fluido y del trabajo del compresor.

La eficacia del condensador está ligada a la temperatura del aire exterior. Cuando más elevada, menos eficaz será el condensador. Por lo tanto, cuando el condensador se encuentra instalado en una zona soleada, la temperatura del aire exterior puede llegar a los 40° mientras que si se encuentra ubicado en zonas de sombra no superar los 30°.

En resumen, se puede mencionar que el ensuciamiento de los filtros hará caer la eficacia frigorífica de un equipo entorno al 30 o 40%. Sin embargo esta pérdida de potencia no podrá visualizarse en momentos de altas temperaturas exteriores que solamente ocurren pocos días al año. El resto del año, menos demandante, el climatizador será capaz de cubrir las necesidades de frío de las zonas pero a un costo elevado y perjudicando la integridad del conjunto del equipamiento de climatización. Se estima que la reducción del tiempo de vida se sitúa en torno al 50% si no es mantenido correctamente.

Por ello, resulta indispensable, que los filtros sean limpiados periódicamente tanto en los evaporadores como en los condensadores.

### **6.3.7 Adaptar la temperatura de impulsión de agua**

Cuando el régimen de funcionamiento del agua helada es muy bajo frente a las necesidades térmicas de las zonas a climatizar en periodos intermedios. El aire de la zona se encuentra inútilmente deshumidificado, lo que encarece el funcionamiento además de provocar molestias a los usuarios importantes. La temperatura deberá por lo tanto adaptarse.

Se debe tener en cuenta que las instalaciones y su régimen de funcionamiento, están diseñadas desde un origen para suplir unas cargas máximas térmicas. En efecto, una instalación cuyo funcionamiento fue diseñado para un rango de 7°C-12°C, y mantener unas condiciones interiores de 22 a 24°C en momentos de altas temperaturas exteriores, no requiere de esas temperaturas en periodos intermedios.

El mantener ese régimen de funcionamiento de agua provoca:

- Pérdidas de energía a lo largo de la distribución de agua (subiendo esa temperatura las pérdidas se minimizan)
- Condensación del vapor de agua contenido en el aire tratado a nivel de las baterías de agua helada. (El aire ambiente condensa en torno a de los 12°C, y en el caso de mantener el agua a un régimen de 7-12°C provocará fuertes condensaciones, implicando que parte de la energía aportada se destina no a disminuir la temperatura del aire, sino a deshumectarlo.
- Mejora el rendimiento del ciclo de producción de agua helada.

Sin embargo, antes de subir la temperatura de funcionamiento, se debe comprobar que los equipos terminales estén sobredimensionados, ya que el aumento de la temperatura afecta el rendimiento de la batería de intercambio.

## **6.4 Producción de frío**

### **6.4.1 Mejora del ciclo de frío**

#### **6.4.1.1 Mejora de la regulación de la potencia del compresor**

En este documento, se presentaron los diferentes tipos de regulación de la potencia del compresor. La regulación ideal es por variador de velocidad (INVERTER). La inversión es más elevada pero los ahorros son más importantes así que el retorno de inversión es rápido.

Una segunda solución consiste en el paro de algunos de los cilindros de compresión, por medio de la instalación de una válvula solenoide. Es un método de regulación que se encuentra frecuentemente así que habrá que privilegiar cualquier de estos dos métodos.

La tercera vía de regulación recomendada radica en instalar varios pequeños compresores funcionando en cascada para “fraccionar” la potencia en diferentes niveles. En efecto, el arranque de un compresor de gran tamaño puede generar un pico de demanda eléctrica importante. Además, es una solución más económica que las anteriores y del punto de vista energético adecuada. En efecto, una disminución del 25% de la potencia frigorífica del sistema solamente reduce en un 10% en promedio la potencia eléctrica absorbida por el compresor!!

Adicionalmente, en la práctica, es importante limitar el funcionamiento del compresor a cargas parciales, es decir a bajo del 20% de su potencia nominal, dado que para estas cargas, el rendimiento del sistema de producción de frío es muy bajo.

#### **6.4.1.2 Mejora del funcionamiento del condensador**

##### **6.4.1.2.1 Principio teórico**

Bajar la temperatura de condensación equivale a bajar el nivel de presión a la salida del compresor. Esto resulta en una disminución del trabajo de este equipo y de la energía que consumida. En la práctica, se considera que bajar la temperatura de condensación de 1°C genera 3% de ahorros energéticos sobre el consumo eléctrico del compresor.

##### **6.4.1.2.2 Reducir la temperatura del aire exterior**

Resulta importante que el condensador este ubicado en un lugar ventilado, donde pueda desechar el aire libremente y obtener el aire de repuesto, lo más fresco posible.

También es importante evitar un calentamiento local del aire. No conviene instalar el condensador sobre una superficie de color oscuro que atraerá el calor o bajo los rayos del sol. Si no se puede instalar en la sombra, se debe pensar en un sistema para darle sombra y así bajar la temperatura del aire ambiente.

##### **6.4.1.2.3 Evitar la recirculación del aire aspirado**

Si el condensador se encuentra instalado muy cerca de la pared, el aire expulsado por el ventilador puede ser recirculado hacia la aspiración, implicando una mezcla de aire caliente y frío, y por lo tanto generando un incremento de la temperatura de aspiración y condensación.

#### **6.4.1.2.4 Trabajar con un ventilador de velocidad variable o en cascada**

La mayoría de los ventiladores funcionan en modo “todo o nada”. Si tomamos el ejemplo de un sistema de aire acondicionado con una consigna de mantener 12 bares mínimo en el condensador. El ventilador se pondrá en funcionamiento en cuanto se detecte una subida de presión de condensación hasta obtener el valor de consigna deseado. Esto provoca ciclos “on – off” rápidos y un desgaste adicional del motor. Por otra parte, el arranque brusco del ventilador provoca una caída repentina de la presión y de la temperatura de condensación. A su vez, conlleva a un re-evaporación del líquido que se quedó a la misma temperatura. Estas burbujas de gas pueden llegar a distorsionar el funcionamiento adecuado de la válvula de expansión y del sistema en general (“flash gas”).

El uso de un ventilador con velocidad variable, bien sea por medio de un motor especial o por la instalación de un variador de frecuencia externo, permite reducir el consumo eléctrico de los motores pero también mejorara el funcionamiento del compresor.

Una solución consiste en instalar varios ventiladores y hacerlos funcionar en cascada por medio de un presostato de varias etapas.

#### **6.4.1.2.5 Trabajar con una válvula de expansión electrónica**

Si la válvula de expansión termostática trabaja con temperaturas mínimas de condensación de 35°C, la válvula de expansión electrónica puede trabajar con temperaturas mínimas de condensación de 20°C, permitiendo regular la temperatura de condensación en función de la carga del compresor.

La inversión inicial es más cara pero se recupera rápidamente (aproximadamente 2.5 años).

#### **6.4.1.3 Instalar medidores en la instalación existente**

##### **6.4.1.3.1 Instalar un medidor horario**

En los apartados anteriores, vimos que limitar la potencia del sistema a las necesidades a través de la regulación permitía generar ahorros. Para llevar a cabo esta regulación, es necesario conocer la potencia efectiva requerida a lo largo del año.

Al instalar un simple medidor horario en la alimentación eléctrica del compresor, podemos conocer el tiempo de funcionamiento del equipo y entonces la potencia media consumida. Cuidado si se trata de una instalación a funcionamiento discontinuo, en este caso, la potencia media puede ser engañosa dado que, a ciertos momentos, la potencia consumida será la máxima y luego nula. Esto pasa mucho en las instalaciones de gran tamaño.

#### **6.4.1.3.2 Medición del COP**

En las grandes instalaciones, puede ser interesante instalar un medidor de agua helada y un medidor eléctrico en el compresor con el fin de medir en tiempo real el COP de la instalación y mejorar la regulación.

### **6.4.2 Instalar un depósito de inercia**

Un depósito de inercia en una instalación de agua helada amplifica la inercia térmica de la instalación, prolongando por lo tanto el tiempo de funcionamiento de los compresores y los paros y arranques consecutivos en periodos intermedios.

Este depósito además de limitar los arranques constantes, prolonga la vida útil del material, favoreciendo paros prolongados y funcionamientos constantes.

Se deberá estar atento en la posición de la sonda de regulación frente a la instalación del depósito. La sonda en ningún caso deberá ponerse antes del depósito, ya que anularía el efecto de almacenamiento.

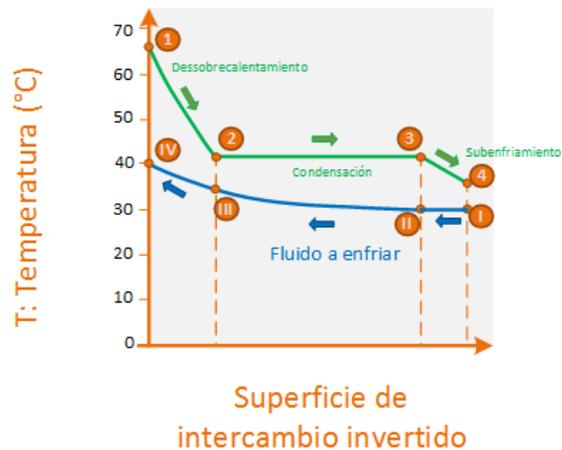
El depósito de inercia deberá ser calculado para absorber la energía de 5 a 10 minutos de demanda máxima.

### **6.4.3 Recuperar el calor sobre el condensador de la máquina frigorífica**

#### **6.4.3.1 Principio de funcionamiento**

Una máquina frigorífica transfiere el calor extraído de un edificio hacia el exterior. Es lógico intentar recuperar ese calor sobre el condensador de la máquina frigorífica.

Figura 150 Gráfica de intercambio en el condensador



En principio, se desarrollan tres operaciones sucesivas en el condensador de la máquina frigorífica:

- 1- En la máquina frigorífica, los gases que son expulsados por el compresor se encuentran a muy alta temperatura (en torno a 70 – 80°C). Se denomina sobre calentamiento. En vista de que la condensación se realiza a temperaturas inferiores (en torno a 40°C), una cantidad de calor debe ser evacuado de los gases sobre calentados para llevarlos a la temperatura de condensación que corresponde a la presión de descarga (llamada presión de condensación).
- 2- Una vez en fase de condensación, una cantidad importante de calor también va a ser evacuado para permitir la licuefacción del fluido frigorífico gasificado.
- 3- Si las condiciones de intercambio térmico en el condensador lo permite, el fluido refrigerante condensado va a ser sub enfriado, mejorando el rendimiento del evaporador.

#### 6.4.3.2 Recuperación de la energía

En ciertos casos, se puede intentar recuperar esta energía para calentar agua o aire, limitando el uso de energías fósiles y perder esa tan preciada energía.

- Si en el mismo edificio, se requiere de agua caliente sanitaria de temperatura no muy elevada (45 a 50°C)
- En caso de requerir necesidades de calefacción

El funcionamiento normal es enfriar el agua helada en el evaporador (cooler). El calor extraído en el fluido refrigerante evaporado es comprimido y condensador en un condensador.

Sin embargo, si un recuperador de calor es instalado, el refrigerante pasa inicialmente en el recuperador para ceder parte del calor, y por el condensador. El líquido en alta presión

atraviesa la expansión antes de volver a circular por el evaporador. El calor excedente es expulsado vía el condensador principal de la máquina.

La recuperación de la energía del lado de los condensadores supone evidentemente inversiones y costos suplementarios, implicando que los ahorros obtenidos sean rentabilizados. Para la integración de estos sistemas de recuperación, se deben considerar tanto el conjunto de la máquina frigorífica como los equipamientos de producción de calor.

El balance debe tener en cuenta:

- La aportación de energía gratuita o recuperada por el equipo de frío
- La energía de apoyo que se debe disponer en los equipos de producción de calor
- Los excedentes de calor producidos por el equipo de frío en momentos de bajas demandas

#### **6.4.3.2.1 Aplicación sobre una instalación de fan-coils de 4 tubos**

En el caso de fan-coils a 4 tubos, si la red de agua helada funciona en invierno o estaciones intermedias, resulta interesante recuperar ese calor a nivel del equipo de producción de frío.

Por ejemplo, se podría intentar recuperar la energía calorífica para calentar locales en la fachada norte mientras se requiere frío para salas informáticas.

En la práctica, resulta difícil:

- La recuperación del calor se realiza a una temperatura elevada, donde los fan-coils operan con temperaturas que se sitúan en 45°C en invierno. Por lo tanto, la condensación debería realizarse a 50°C. En esos periodos, el condensador puede ser enfriado con temperaturas muy inferiores en vista de la temperatura del aire exterior. Esa recuperación, sin duda penalizara el COP del equipo e frío. Por ejemplo, un equipo frigorífico que prepara agua helada a 7°C con una temperatura de condensación de 27°C dispone de un COP de 6, mientras que con una temperatura de condensación de 50°, no supera los 3.
- La recuperación del calor de la temperatura de salida del compresor hasta la temperatura de condensación parece interesante recuperar la, ya que la temperatura en ese punto es muy elevada, aunque la cantidad de energía es menor que en la fase de condensación.
- Las diversas potencias existentes en los balances energéticos, no tiene por qué solaparse a nuestras necesidades. En invierno la demanda de frío es muy baja para poder cubrir las demandas caloríficas, implicando descompensaciones molestas y la necesidad de equipos de apoyo.

Por otra parte, en invierno, este tipo de recuperación está en competencia con otro sistema de mejora que es el free chilling que enfría directamente el circuito de agua helada con el aire exterior. Este sistema ofrece mayores ventajas que la recuperación de calor en el condensador.

#### 6.4.3.2.2 Aplicación de pre calentamiento del agua caliente sanitaria

La idea en este sistema es aprovechar la necesidad de calor de un fluido a baja temperatura (la temperatura de agua de red varía entre 5°C y 20° según la zona y el periodo).

Este tipo de sistema debe aplicarse siempre y cuando las necesidades de calor (agua caliente sanitaria) sean muy por encima de la potencia recuperada en el chiller.

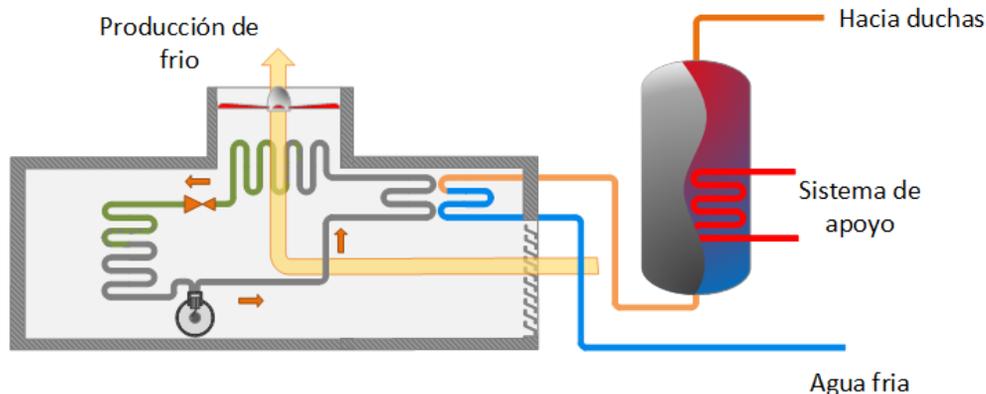
Por ello, en unas oficinas, las necesidades de calor de agua caliente sanitaria son muy bajas. La temperatura del agua en la producción de agua caliente será de 60°C, implicando que en caso de conexión del recuperador al sistema, implicara temperaturas de condensación elevadas, alterando el COP del equipo y pudiendo en ciertos momentos bloquearlo por alta temperatura.

Sin embargo, si consideramos un hotel, hospital, cocinas industriales, entre otras, las necesidades de agua caliente serán elevadas y constantes, pudiendo justificar su instalación. El sistema deberá ser dimensionado considerando:

- La demanda y perfil horario de agua caliente sanitaria
- La temperatura de agua de red
- La energía disponible en el recuperador de forma horaria.

#### 6.4.3.2.3 Esquema tipo:

Figura 151 Pre calentamiento de agua caliente sanitaria



Se puede incorporar un doble intercambio. Dos intercambiadores se instalan en el mismo depósito de acumulación. El primero intercambia la energía del condensador de la máquina frigorífica con el agua almacenada, y el segundo proviene del sistema de apoyo de la producción general de calor (caldera)

En el depósito intermediario, no se corre el riesgo de acumulación de cal ya que el agua no se renueva. En caso de fuga de fluido frigorífico, la presión del depósito aumentará provocando una alarma.

Un segundo condensador en serie es necesario en el caso donde las necesidades de calor para el agua caliente sanitaria fueran insuficientes.

## 6.4.4 Free chilling

### 6.4.4.1 Principios de base

Cuando la temperatura exterior desciende por debajo de los 8°C a 10°C, se puede generar agua helada sin usar el grupo frigorífico. El agua es directamente refrigerada por el aire exterior y la máquina frigorífica es puesta en paro. El ahorro de energía es evidente y la rentabilidad del proyecto será más importante, cuantas más necesidades de frío se requieran en periodos de invierno.

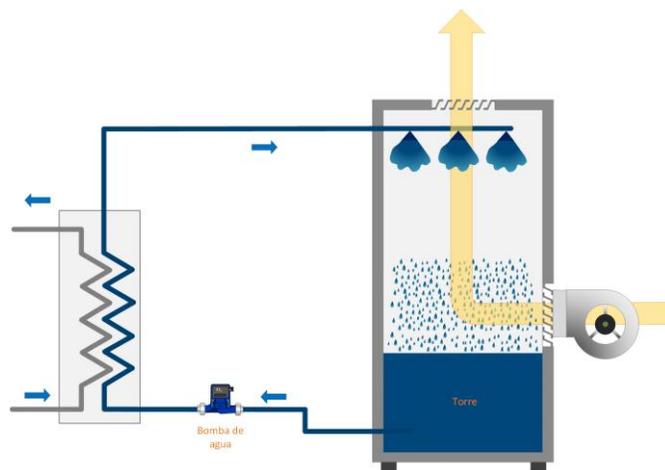
### 6.4.4.2 Tipos de instalaciones que se adaptan a este sistema

Inicialmente se requiere de una instalación de agua helada que funcione en periodo de invierno.

El interés aumenta si los intercambiadores trabajan en alta temperatura, tales como los techos frío (15-17°C), vigas frías o fan&coils sobredimensionados para trabajar en condiciones de 12-17°C. En el caso de que no fuera el régimen de funcionamiento, se deberá realizar un estudio para adaptar los equipamientos.

Si la instalación dispone de un condensador de agua, la adaptación del free chilling será más fácil, ya que la torre de enfriamiento se podrá dedicar a enfriar el agua helada con el aire exterior. En la torre, gracias a la evaporación parcial del agua, la temperatura del aire exterior se verá todavía más reducida. Por ello, aire a 15°C con humedad del 70% permite generar agua de enfriamiento a 12°C (temperatura baja teórica bulbo húmedo). Sin embargo, un intercambiador deberá ser instalado en el circuito de torre y el circuito de agua helada del edificio.

Figura 152 Sistema recuperación torre



#### 6.4.4.2.1 Problemas de hielo

Producir agua helada a través de aire exterior en una torre de refrigeración, puede generar problemas de hielo. La solución más utilizada es el introducir glicol en el agua, destacando lo siguiente:

- El glicol es un anticongelante costoso
- Generalmente, se limita el circuito de agua glicolada al último tramo en contacto con el exterior
- Un intercambiador suplementario debe ser instalado, implicando un consumo eléctrico suplementario por las pérdidas de carga y la ampliación de la diferencia de temperatura cuando el sistema free chilling funciona.

Existen una serie de desventajas, que se analizan con ejemplos:

- En el caso de que la instalación se encuentre equipada de un chiller con enfriamiento directo de aire, se deberá incorporar un aereo o torre en serie, que evidentemente perjudicará la rentabilidad del proyecto.
- Un intercambiador de fan&coil que debe pasar de un funcionamiento de 7-12° C a 12-15°C pierde en torno a 37% de su potencia de enfriamiento. Si este equipo está sobre dimensionado, es una ventaja ya que no sufrirá falta de potencia.
- Cuando la instalación funciona a cargas parciales, es sumamente importante que la temperatura media del agua helada sea lo más elevada posible para favorecer el intercambio con el aire exterior. Por lo tanto, se requiere de instalar una regulación en los intercambiadores de caudal variable para poder incrementar el salto térmico entre la impulsión y retorno.

El querer incorporar este tipo de sistema, requiere de un estudio en profundidad de las instalaciones existentes y destacar la posible rentabilidad. Sin embargo, debe ser un punto de análisis, ya que en numerosos casos esta incorporación resulta fácil y de importantes rentabilidades.

#### 6.4.4.3 Esquemas

Diferentes sistemas de enfriamiento por free chilling son aplicables, tal y como se detallan a continuación:

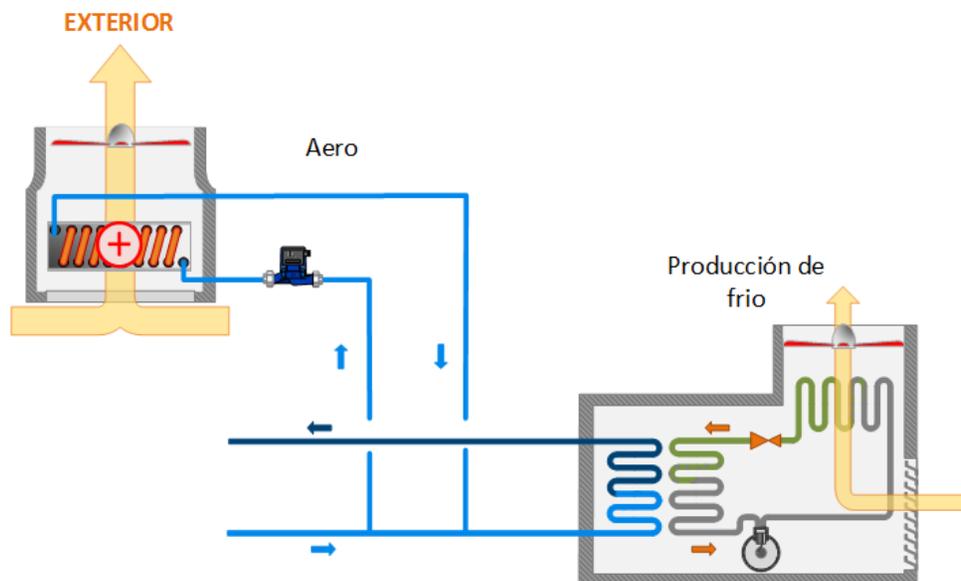
##### 6.4.4.3.1 A través de un Aereo de aire específico

En este caso dos posibles conexiones son posibles:

#### 6.4.4.3.1.1 Montaje en serie

En este caso, el aero se encuentra instalado en serie con el evaporador, implicando una temperatura final regulada por el equipo de frío, que debe mantenerse en funcionamiento para obtener la temperatura deseada.

Figura 153 free chilling montaje en serie aero

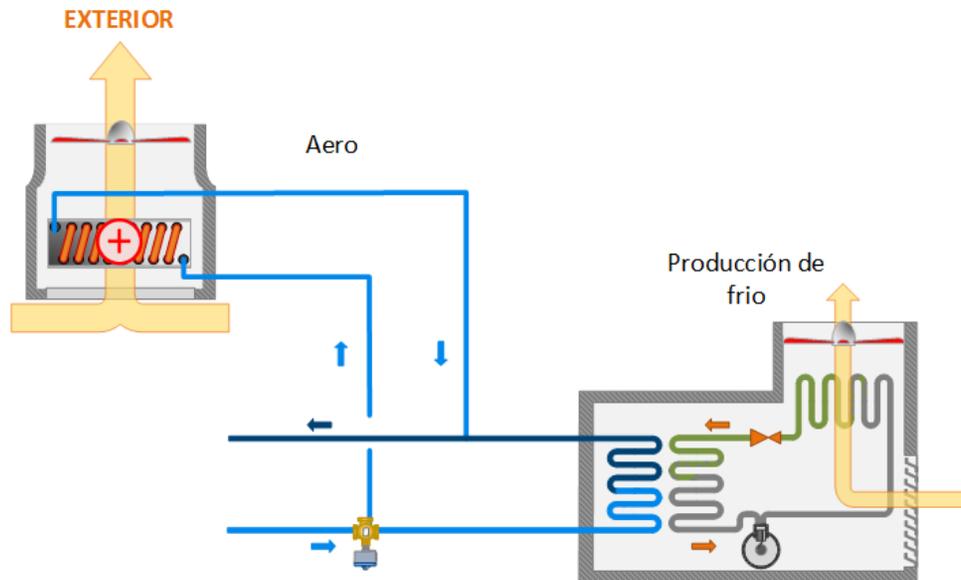


#### 6.4.4.3.1.2 Montaje en paralelo

El Aero se encuentra instalado en paralelo al chiller, pudiendo seleccionar el uso de una de las tecnologías en base a las condiciones exterior, a través de una válvula de tres vías.

Estas opciones son costosas y hacen poco viable la solución de free chilling.

**Figura 154 free chilling montaje en paralelo aero**



#### 6.4.4.3.2 A través un aparato mixto

Ciertos fabricantes proponen equipos que presentan 2 condensadores:

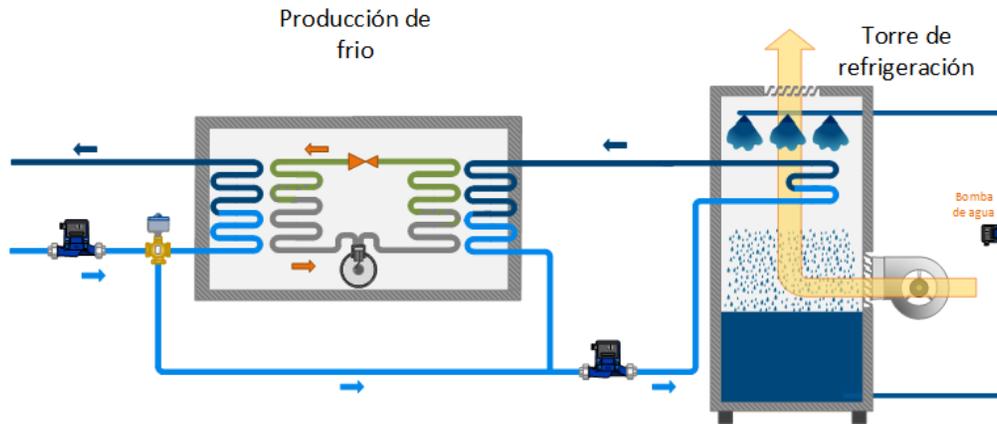
- Un condensador de fluido frigorífico
- Un aero para el agua helada, con funcionamiento alternativo según la temperatura exterior

#### 6.4.4.3.3 A través de torre cerrada de la instalación

A continuación se presenta un esquema de una instalación que funciona sobre la base de una máquina frigorífica. Cuando la temperatura del aire exterior es lo suficientemente fría, la válvula de tres vías actúa y el agua helada toma el lugar del agua del circuito de condensación.

En una torre cerrada, el agua no se encuentra en contacto directamente con el aire exterior, ya que el circuito es independiente al de pulverización de la torre. Por lo tanto, el problema de hielo puede producirse, ya que resultaría costoso introducir glicol al conjunto del sistema de agua helada.

Figura 155 free chilling a través de torre cerrada



#### 6.4.4.3.4 A través de torre abierta de la instalación

En este caso, el agua helada es pulverizada directamente en la torre, implicando su oxigenación, ensuciamiento. Estas impurezas terminan por ensuciar el conjunto de las instalaciones de aire acondicionado del edificio y provocan corrosiones importantes.

#### 6.4.4.3.5 A través de un intercambiador de aire ubicada delante de las apertura de aspiración de la torre

Este sistema permite reutilizar los ventiladores de la torre, pero crea una pérdida de carga permanente.

#### 6.4.4.3.6 A través de un intercambiador de placas

El intercambiador de placas se instala entre el circuito de agua helada y el circuito de la torre de refrigeración. Esta solución es simple y minimiza la presencia de glicol en el circuito de la torre. Sin embargo requiere una inversión, además de producir un diferencial de temperatura de mínimo 2° en el intercambio entre el agua helada y la torre, lo que disminuye el rango de funcionamiento del sistema de enfriamiento por aire exterior.

## 6.4.6 Almacenamiento de agua helada

### 6.4.6.1 Tecnologías disponibles

El objetivo de este tipo de sistema es el de fabricar y almacenar energía frigorífica antes de su siguiente uso, como por ejemplo en periodos nocturnos.

Existen dos tecnologías disponibles:

- Depósitos de agua helada
- Depósitos de hielo

#### 6.4.6.1.1 Depósitos de agua helada muy fría

Se trata de enormes depósitos de almacenamiento de energía sensible. Este depósito constituye una reserva de agua a 5°C, y depósito de inercia que se encuentra en serie con la instalación de frío. Este sistema permite cubrir las demandas puntas de frío y su capacidad resulta limitada, ya que su principal función reside en evitar arranques y paros de los equipos de producción de agua helada.

#### 6.4.6.1.2 Depósito de hielo

Se trata de depósitos de hielo bajo forma de barras de hielo o nódulos, que almacenan energía latente.

La instalación y su regulación es más costosa pero mucha más eficaz, ya que permite almacenar 80 veces más energía en un litro de agua que se congela que en un litro de agua helada que disminuimos de 1°C. Este tipo de sistemas permiten disminuir la potencia instalada en la producción de frío y de mantener durante largos periodos de tiempo los equipos parados.

En este caso se distinguen dos posibles tecnologías. La primera utilizando tubos sumergidos en un depósito (sistema denominado comúnmente “ice on coil”) y la segunda a través de pequeñas esferas de poliuretano ubicadas en el interior de un depósito.

La primera tecnología dispone de tubos donde circula un refrigerante o agua glicolada a temperaturas cercanas a los -5°C. El agua helada en contacto con los tubos forma hielo alrededor de los mismos. El conjunto de las tuberías puede ser de acero o plástico. La formación de hielo está limitada a unos 35 mm de espesor alrededor de los tubos, sugiriendo que en caso de requerir más energía se deberán implantar una mayor cantidad de elementos, incrementando considerablemente el costo de la inversión.

La segunda tecnología se compone de un depósito cerrado, lleno de agua glicolada y esferas de polietileno. Estas esferas suelen rondar los 10 cm de diámetro y están rellenas de agua con una mezcla de dos componentes con puntos de fusión y vaporización mínimos para temperaturas negativas o sales hidratadas para temperaturas positivas.

Figura 156 Esfera de hielo



Figura 157 Esfera de hielo en fase de carga



Figura 158 Esfera de hielo en fase de descarga



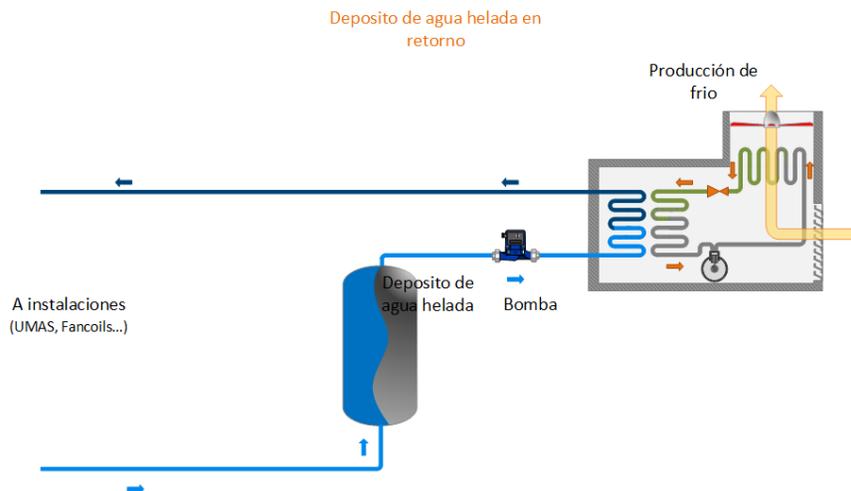
En el momento de almacenar la energía frigorífica la temperatura del agua es inferior a la temperatura de cambio de fases de la mezcla de agua y sales dentro de la esfera, provocando su cristalización

En este proceso del uso de la energía, la temperatura del agua que se sitúa por encima de los  $0^\circ\text{C}$ , provoca que el hielo funda.

## 6.4.6.2 Esquemas de funcionamiento

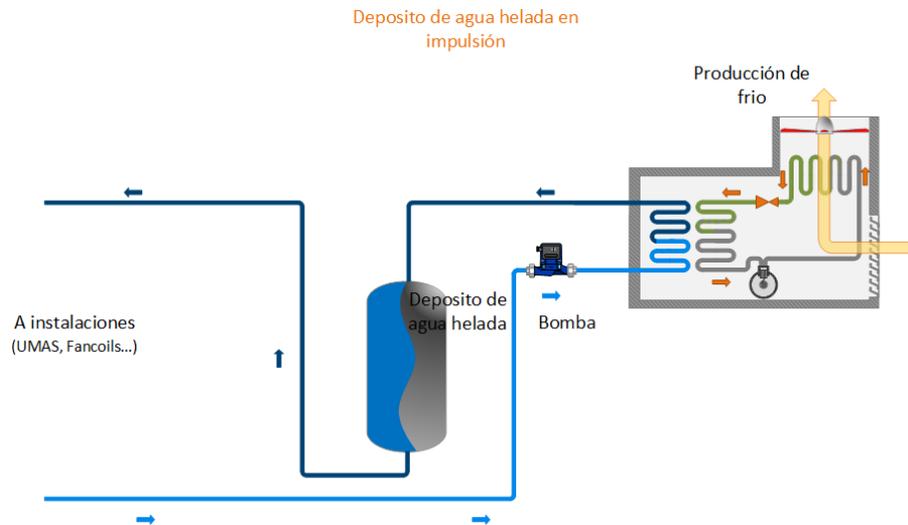
### 6.4.6.2.1 Depósitos de agua helada

Figura 159 Depósito de agua helada en retorno



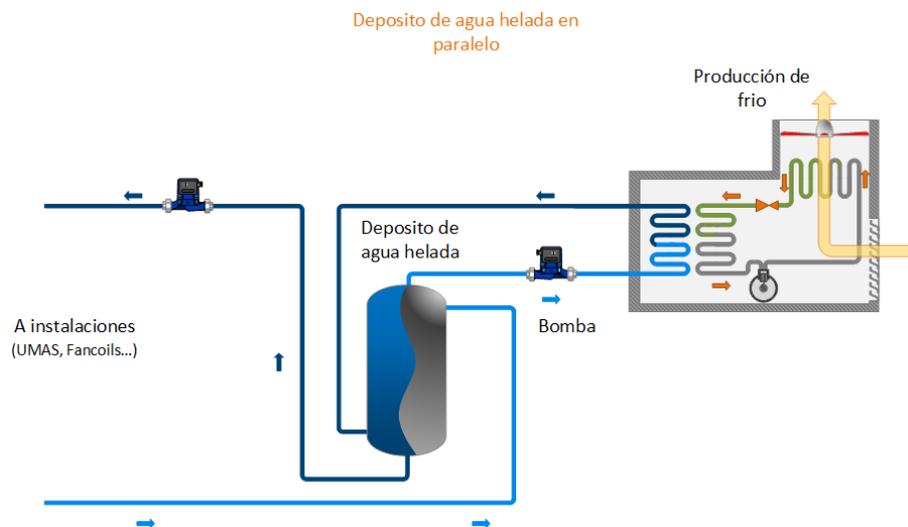
El depósito de agua helada se instala en serie sobre el retorno de agua de la distribución. Este tipo de conexión mantiene el funcionamiento del equipo de frío estable.

**Figura 160 Depósito de agua helada en impulsión**



El depósito de almacenamiento de agua helada se encuentra conectado en serie en el circuito de impulsión de la distribución. La temperatura del agua de suministro al sistema de emisores se mantiene estable.

**Figura 161 Depósito de agua helada en paralelo**



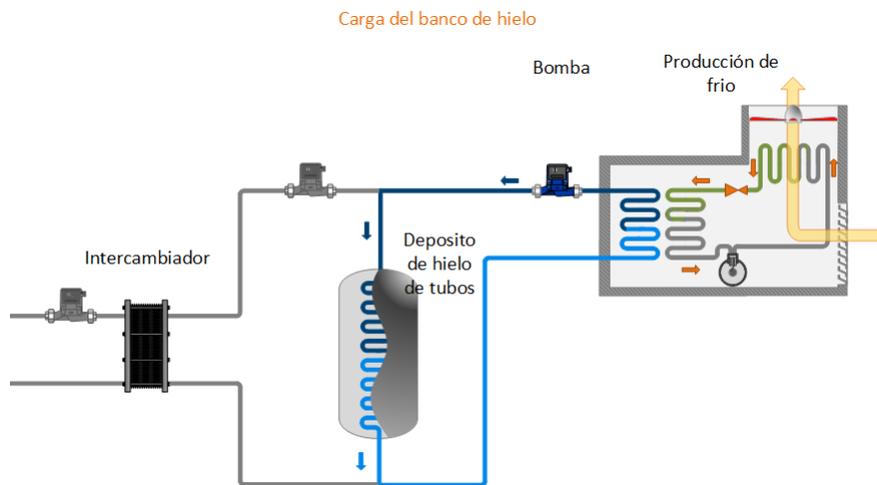
El depósito de agua helada sirve de depósito de inercia y compensador hidráulico, separando el circuito de producción de agua helada con respecto al de producción.

Los dos circuitos disponen de su correspondiente sistema de bombeo, asegurando una separación y equilibrado hidráulico.

### 6.4.6.2.2 Depósitos de hielo

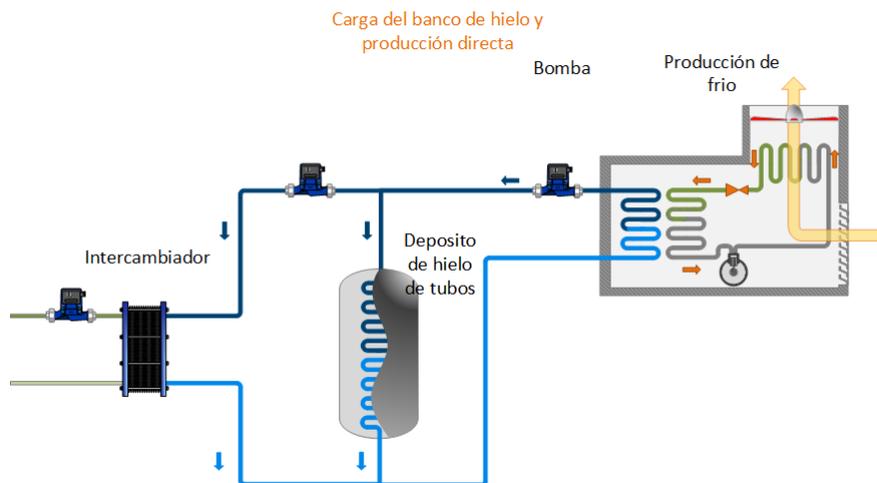
#### 6.4.6.2.2.1 Depósitos de hielos de tubos

Figura 162 Esquema conexión banco de hielo de tubos modo carga



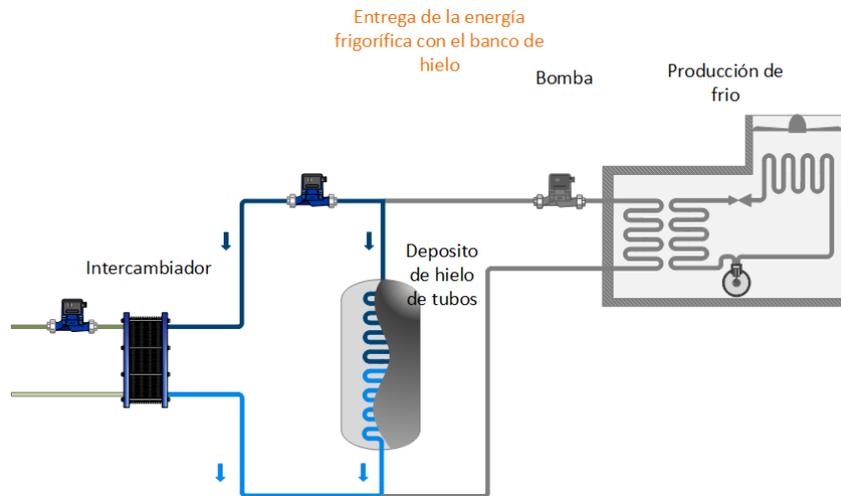
En este esquema se presenta la generación de hielo a través del equipo de producción de agua helada.

Figura 163 Esquema conexión banco de hielo de tubos modo carga y producción



En este esquema, se muestra la fase de fundición del hielo. En este tipo de conexión, se puede combinar el funcionamiento del equipo con la entrega de energía a la instalación como la carga del sistema. El sistema de intercambio permite separar el circuito de distribución lleno de agua con el circuito de producción que dispone de una mezcla agua y glicol.

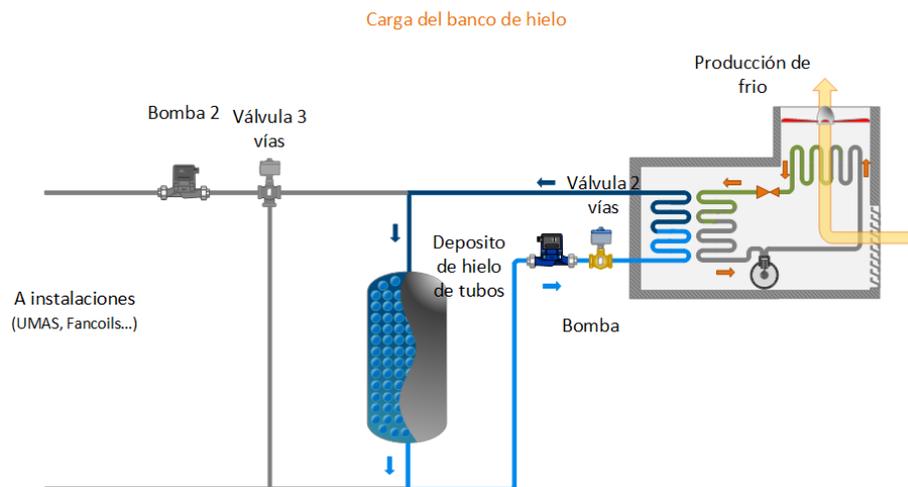
**Figura 164 Esquema conexión banco de hielo de tubos modo descarga**



En este funcionamiento, el banco de hielo se entrega de suministrar a la instalación la energía frigorífica requerida, sin necesidad de poner en funcionamiento el equipo de producción de agua helada.

#### 6.4.6.2.2 Depósitos de hielos de esferas

**Figura 165 Esquema conexión banco de hielo de esferas modo carga**

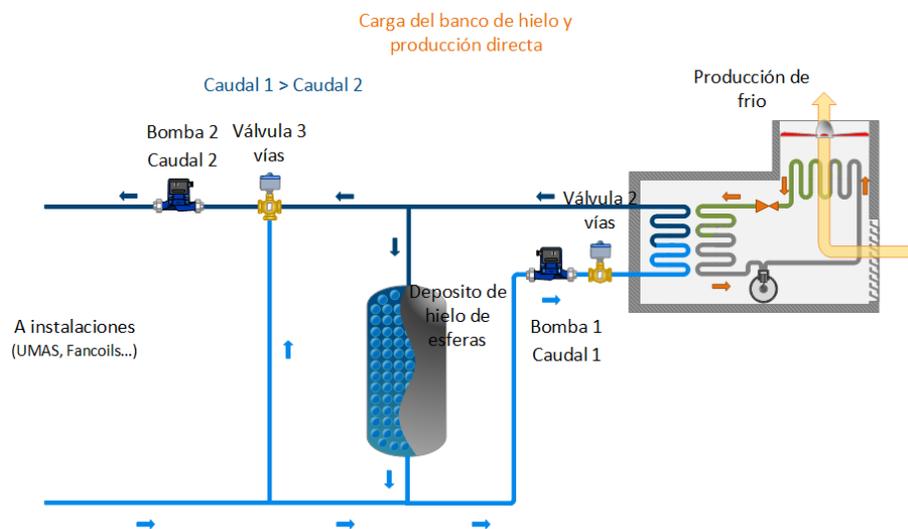


La red de distribución no requiere de agua helada. La bomba 2 correspondiente al sistema de bombeo del circuito de distribución esta parada y la válvula de 3 vías cerrada.

La producción de agua helada enfría las esferas que forman hielo progresivamente, desde la periferia hasta el centro. La temperatura a nivel del evaporador se mantiene constante.

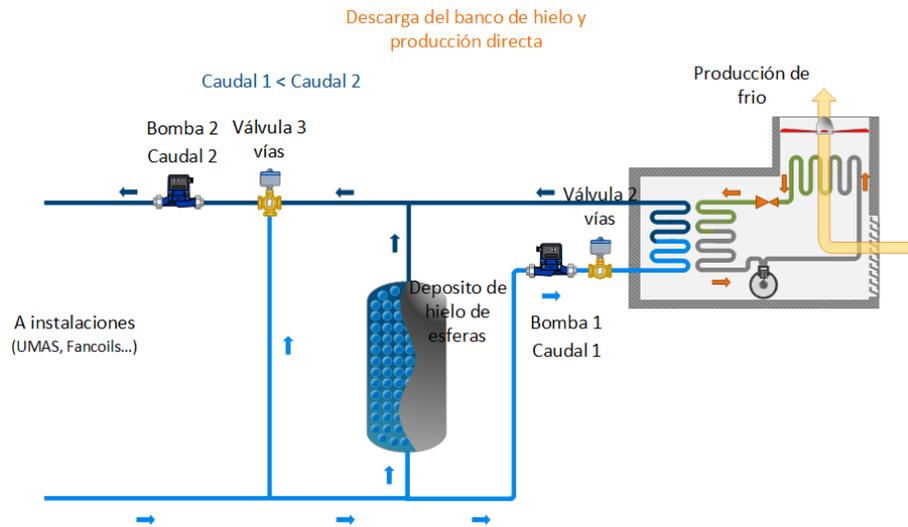
La potencia frigorífica solicitada por el banco de hielo disminuye en el tiempo, tras el congelamiento de las esferas. Las esferas congeladas van a provocar la disminución de la temperatura en el circuito de carga. Esta caída de temperatura será detectada por un termostato de regulación que para el equipo de producción de frío, bomba y válvula de dos vías.

Figura 166 Esquema conexión banco de hielo de tubos modo carga y producción



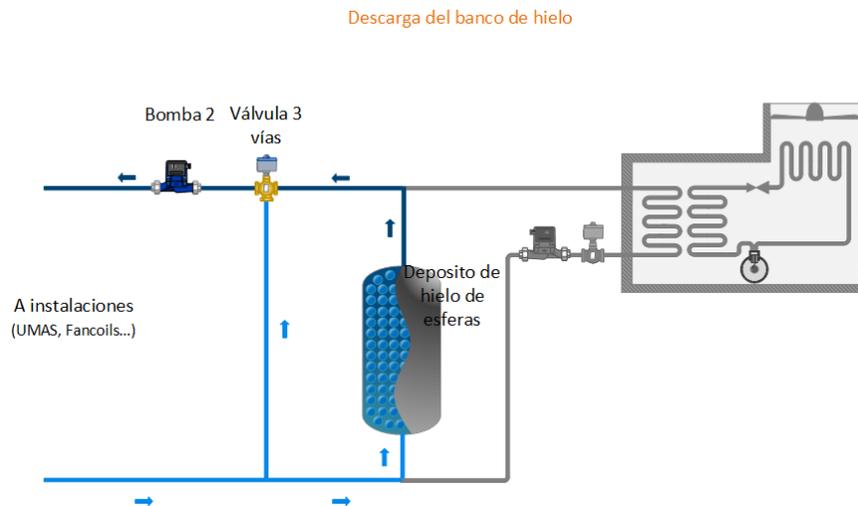
La potencia frigorífica del equipo de frío es superior a la potencia solicitada por los equipos emisores conectados al circuito de distribución. La bomba 2 se encuentra en funcionamiento y la válvula de tres vías regula la temperatura de suministro de agua helada a una temperatura de consigna constante. Considerando que en este caso el caudal de distribución es inferior al de la producción, el diferencial pasa por el interior del banco de hielo.

Figura 167 Esquema conexión banco de hielo de tubos modo descarga y producción



La potencia frigorífica del equipo es inferior a la potencia solicitada por los emisores conectados a la red de distribución, Las dos bombas se encuentran en funcionamiento y la válvula de tres vías se encarga de regular los fluidos para garantizar una temperatura de consigna. En vista de que el caudal de distribución es mayor al caudal de producción, el diferencial pasara a través del depósito descargando la energía acumulada.

Figura 168 Esquema conexión banco de hielo de tubos modo descarga



La demanda de frío solicitada por los emisores conectados a la red de distribución es asegurada por el banco de hielo.

### 6.4.6.3 Ventajas e inconvenientes

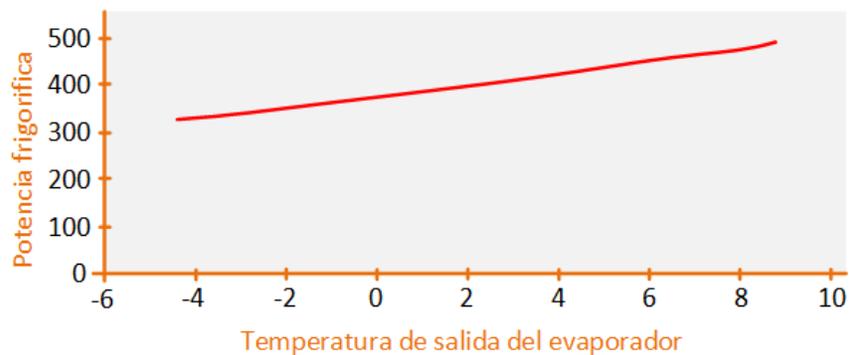
#### 6.4.6.3.1 Ventajas

- La energía frigorífica producida en el periodo nocturno resulta más económica que durante las horas diurnas.
- En el caso que se utilice la energía almacenada en los periodos puntas, se obtiene un real ahorro económico por el costo eléctrico de frío, limitando el costo debido a la demanda como energía eléctrica de ese periodo.
- En las instalaciones de nueva construcción, permiten limitar la potencia de frío a instalar, obteniendo un ahorro consecuente tanto en las propias instalaciones de frío como eléctricas. Además de limitar el volumen del conjunto de la maquinaria (torres, equipos de frío. Entre otros)
- Evita los arranques y paros de los equipos de compresión, manteniendo largos periodos de funcionamiento o paro, obteniendo las mejoras de rendimiento oportunas.
- Seguridad de suministro durante periodos determinados en caso de avería de los equipos de producción de agua helada.

#### 6.4.6.3.2 Inconvenientes

- Ninguna ganancia sobre el balance de energía térmica, sino algunas perdidas por el depósito. Se trata de una mejora económica y no tanto energética.
- Cuando la máquina de frío produce hielo, la temperatura en la evaporación disminuye, implicando el descenso de la eficiencia del conjunto. Este fenómeno se contrarresta parcialmente por la disminución de la temperatura de condensación ya que se carga en periodo nocturno.
- La potencia frigorífica de la máquina desciende a 60-70% de valor nominal cuando genera hielo, tal y como se observa en la gráfica adjunta.

Figura 169 Evolución de la potencia frigorífica en base a la temperatura de salida del evaporador



- La instalación resulta compleja y necesita de un sistema de regulación para gestionar la carga y descarga de la energía almacenada.
- El almacenamiento térmico es voluminoso y por lo tanto generalmente se limita a las necesidades diurnas.

#### 6.4.6.4 Procedimiento

La selección de la instalación de un almacenamiento de frío requiere de un análisis del perfil horario del consumo de frío.

Se deben fijar los objetivos que se desean cubrir con su implantación, tales como:

- Disminuir el consumo eléctrico en periodo punta
- Disminuir la potencia del sistema de frío
- Reducir el tamaño de las instalaciones en azotea
- Disponer de una reserva de frío para garantizar un suministro continuo
- Entre otros.

Se distinguen diversas estrategias, tal y como se puede visualizar en los esquemas adjuntos:

Figura 170 Almacenamiento completo con la carga de frío durante la noche



Figura 171 Almacenamiento parcial para limitar las puntas de frío

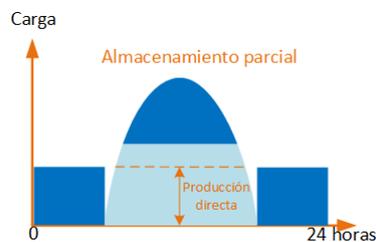
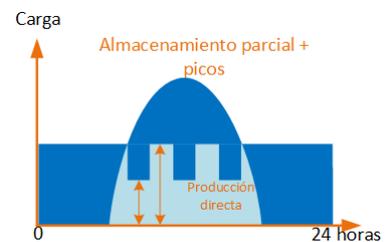


Figura 172 Almacenamiento parcial para hacer frente a picos de potencia eléctrica



#### 6.4.6.5 Comprobar el volumen

Los depósitos de almacenamiento en muchas ocasiones se utilizan para disminuir el volumen de instalaciones en la azotea como el de las torres, Sin embargo, se requiere de un espacio disponible en el interior de los edificios. En algunos casos, el almacenamiento se entierra en el terreno, delante de los edificios o bajo los mismos.

También se debe considerar el peso suplementario sobre la estructura del edificio, así como las presiones de agua obtenidas según la configuración del circuito.

#### 6.4.6.6 Establecer el perfil de carga

Al contrario que para los sistemas de enfriamiento comunes donde únicamente se requiere de la potencia de refrigeración máxima para su dimensionamiento, el depósito de almacenamiento de hielo exige disponer del perfil de carga del edificio.

Se trata de una representación gráfica de la carga de frío solicitada en función de las horas del día más exigente en frío del año. El perfil de cargas se representa, en general, bajo forma de una campana cuya superficie representa el 60 a 80% de la superficie del rectangular donde se haya ubicada. Ese porcentaje se denomina factor de simultaneidad. Cuanto más bajo sea el factor menor será el rendimiento.

Si la potencia máxima varía en función del periodo del año la forma del diagrama se mantiene estable.

#### 6.4.6.7 Selección del grupo de frío

Una máquina frigorífica que se destina a la preparación de hielo es diferente a los equipos convencionales de producción.

- La preparación de hielo requiere de una temperatura en el evaporador de varios grados bajo cero (de  $-4^{\circ}\text{C}$  a  $-10^{\circ}\text{C}$ ), mientras que un equipo convencional dispone generalmente de una temperatura de  $+2^{\circ}\text{C}$ .
- Si el almacenamiento de la energía frigorífica es parcial, el mismo equipo producirá hielo durante la noche y agua helada durante el día. Debe por lo tanto, adaptarse a los dos niveles de temperatura de evaporación
- La máquina frigorífica que trabaja durante la noche, debe de igual forma estar preparada para poder funcionar con temperaturas de condensación reducidas, aprovechando la mejora del COP. Esto implica la instalación de un sistema de expansión electrónico capaz de adaptarse a las fluctuaciones de temperatura de condensación.
- El sistema seleccionado implica a menudo la incorporación de un segundo fluido, tipo agua glicolada.

Aunque el uso de las máquinas de frío convencionales sea posible, es necesario analizar la aplicación y condiciones a las cuales deberá someterse para generar hielo. Esto debido que las máquinas requeridas para funcionar con muy bajas temperaturas en el evaporador requieren de tipologías concretas de fluidos frigoríficos.

#### **6.4.6.8 Reparto de las cargas frigoríficas**

La carga frigorífica debe ser repartida entre la máquina frigorífica y el almacenamiento. Tomemos el siguiente ejemplo:

Las necesidades diarias son de 750 kWh. Una potencia máxima de 100 kW es solicitada durante 2 horas sobre un total de 10 horas de explotación. Distinguiamos dos principios de selección de equipamientos:

##### **6.4.6.8.1 Acumulación completa**

En el caso de este sistema, se almacena en el hielo toda la energía frigorífica requerida para cubrir las necesidades de todo el día. La máquina frigorífica se para durante el día y restituye la energía requerida.

Esto implica por lo tanto un almacenamiento de hielo muy importante pero unos costos operativos muy reducidos por el beneficio de la producción en nocturno.

La potencia de la máquina frigorífica será determinada por la relación entre la energía total a acumular (en este caso 750 kWh) y la duración del periodo de producción en horas bajas.

Este tipo de sistema no suele ser utilizado por los costos de inversión y el gran espacio requeridos.

##### **6.4.6.8.1.1 Acumulación parcial**

En este sistema, la misma máquina frigorífica realizara:

- La preparación de hielo durante la noche
- El enfriamiento parcial del agua helada durante el día, apoyado por el sistema de almacenamiento de hielo.

La máquina frigorífica funcionará durante las 24 horas del día, implicando un dimensionamiento en función de la carga de frío total de las 24 horas (750 kWh en nuestro ejemplo) en vez de la base de carga punta (en nuestro ejemplo de 100 kW).

#### **6.4.6.9 Dimensionamiento del depósito de almacenamiento**

El calor sensible del agua es de 1.163 kWh/m<sup>3</sup>.K

La capacidad de almacenamiento depende exclusivamente del régimen de funcionamiento:

- En régimen de funcionamiento de 5/12°C, un volumen de 1 m<sup>3</sup> a 5° dispondrá de un diferencial de temperatura de 7°C, lo que implica una energía almacenada de 8.14 kWg/m<sup>3</sup>.
- En régimen de 5/15°C, un volumen de 1 m<sup>3</sup> a 5° dispondrá de un diferencial de temperatura de 10°C, lo que implica una energía almacenada de 11.63 kWg/m<sup>3</sup>.

En el caso que se quisiera almacenar 1000 kWh de energía frigorífica, necesitaríamos 123 m<sup>3</sup> con un diferencial de temperatura de 7°C y de 86 m<sup>3</sup> para un diferencial de 10°C.

Almacenamiento de hielo

El calor latente de solidificación del agua es de 93 kWh/m<sup>3</sup> (agua), lo que en el caso de querer almacenar esta energía en agua supondría un diferencial de 80°C. En la práctica, si consideramos 1 m<sup>3</sup> de almacenamiento, no todo el volumen se transforma en hielo. A esta energía latente, se le debe añadir la parte sensible en base a las condiciones de temperatura tanto del agua como del hielo.

Tipo	Concepto	Capacidad de almacenamiento	Volumen requerido para 1000 kWh
Depósito de agua	Calor latente	40 kWh/m <sup>3</sup>	25 m <sup>3</sup>
	Calor sensible y latente	50 kWh/m <sup>3</sup>	20 m <sup>3</sup>
Depósito de hielo	Calor latente	48 kWh/m <sup>3</sup>	21 m <sup>3</sup>
	Calor latente y sensible	58 kWh/m <sup>3</sup>	17 m <sup>3</sup>
Nódulos	Calor latente	40 a 50 kWh/m <sup>3</sup>	25 a 20 m <sup>3</sup>
	Calor sensible y latente	50 a 60 kWh/m <sup>3</sup>	20 a 17 m <sup>3</sup>

Se comprueba que, en promedio, un volumen de 1 m<sup>3</sup> de almacenamiento en hielo dispone de 4 a 6 veces más energía frigorífica que un sistema de acumulación de agua helada.

Estos valores permiten dimensionar de forma rápida el sistema, aunque los fabricantes disponen de herramientas de simulación que permiten afinar el conjunto del cálculo.

#### 6.4.6.10 Esquemas típicos de instalaciones

Regulación del sistema de almacenamiento y la producción de frío

La regulación del sistema de almacenamiento y producción de frío es función de una serie de parámetros que se mencionan a continuación:

- La capacidad de almacenamiento en base a las necesidades diarias
- La configuración del sistema en paralelo, en el retorno o impulsión.
- Los objetivos del sistema (reducir los picos, reserva de frío ...)

Si el almacenamiento es para la totalidad de la energía diaria, la gestión se simplifica, ya que esta energía acumulada debe hacer frente a las necesidades totales del día. Una simple válvula de tres vías motorizada asegura el control de la entrega de las necesidades.

Si el almacenamiento es parcial, se distinguen dos posibles funcionamientos:

- Chiller prioritario: La máquina frigorífica asegura la carga permanente de las necesidades y se beneficia del almacenamiento de energía para cubrir los picos de demanda de frío.
- Almacenamiento prioritario: las necesidades de frío bases están cubiertas por el almacenamiento. La máquina de frío está prevista para asegurar los picos de demanda en el día. Este tipo de funcionamiento, implica una mayor capacidad del depósito, y asegura un menor costo de la energía pero penaliza el rendimiento del equipo de frío.

#### **6.4.6.11 Evaluación de la rentabilidad**

La rentabilidad de un sistema de almacenamiento de hielo se establece en función del sobrecosto de la instalación y el ahorro económico obtenido.

El sobrecosto se estima en torno al 20-30% de un sistema convencional. Esta estimación contempla:

- El depósito de hielo : Un costo aproximado de inversión es de :
  - 500 \$/kWh de almacenamiento de un pequeño sistema de 2000 kWh
  - 400 \$/kWh para instalaciones de 5000 kWh
  - 350 \$/kWh para instalaciones de 10000 kWh
- Los equipamientos auxiliares tales como bombas, intercambiadores y valvulería.
- La reducción del precio de la máquina de frío que se ha podido obtener por la implantación del sistema de almacenamiento de hielo.

Lo que resulta difícil de evaluar y que representa un freno en la instalación de un almacenamiento, es disponer del volumen para implantar este sistema.

El ahorro financiero es el ahorro logrado por un funcionamiento nocturno, limitando el funcionamiento de los equipos en horarios de fuerte costo eléctrico (horario punta por ejemplo).

Cada escenario debe ser objeto de un estudio detallado, comprobando la factibilidad de la instalación de este tipo de sistema.

## 6.4.7 Mantenimiento

### 6.4.7.1 Signos de sobreconsumos

Los signos de un sobreconsumo energético de una instalación de producción de frío provienen de:

- El aumento del tiempo de funcionamiento del compresor, causados por:
  - Falta de fluido frigorífico
  - Ensuciamiento de los intercambiadores (condensador y evaporador)
  - Mal estado del compresor

Por lo tanto, la integración de un pequeño contador horario de funcionamiento sobre la alimentación eléctrica del compresor resulta una pequeña inversión que permitirá deslumbrar desviaciones de consumo.

- La disminución de la temperatura de evaporación, es generalmente causada por el ensuciamiento de los intercambiadores.
- El aumento del número de arranques en las pequeñas instalaciones (tipo Split) o el número de cilindros o compresores en uso, es debido o bien al ensuciamiento del condensador, a fugas de refrigerante en el circuito, o bien un mal suministro del refrigerante en estado líquido de la expansión.
- La rentabilidad energética de las operaciones de control y de mantenimiento no resulta fácil de determinar. Sin embargo, se pueden estimar unos ahorros a través de la experiencia internacional y entre otras de la sociedad SECA, donde se enmarcan los siguientes resultados:

### 6.4.7.2 Evaluación del estado

Para poder determinar el estado general del equipo o sistema, resulta importante realizar una serie de test que consisten en:

- O bien detectar posibles fallas de funcionamiento o parámetros anormales, tales como :
  - Corriente absorbida en un funcionamiento continuo frente a los datos de placa
  - En el contaje de las horas de funcionamiento
  - El caudal de agua del circuito de condensación
  - El caudal de agua en el circuito agua helada
  - Entre otros.
- O bien verificar la eficacia energética de la producción, es decir la relación entre la potencia absorbida y la potencia frigorífica entregada por el equipo.

Algunas instalaciones dispone de contadores de energía en el circuito de refrigerante y el diferencial de temperatura o bien del evaporador o condensador. Esto permite establecer los consumos térmicos sobre un periodo determinado.

En este caso, la energía del compresor puede ser deducida por las siguientes ecuaciones:

#### **Ecuación 29 Ciclo frigorífico**

$$\text{Potencia evaporador} + \text{potencia de compresor} = \text{potencia del condensador}$$

Para comprobar la calidad de la instalación, se deberá establecer el balance para varias cargas de funcionamiento y comparar los resultados con los datos del fabricante o con históricos de funcionamiento.

#### **6.4.7.3 Ahorros por operación y mantenimiento**

- Limpieza regular (con una periodicidad mínima de 1 año) de los condensadores de aire y evaporativos: 10 a 30%.
  - 10% en el caso de ensuciamiento bajo
  - 30% en el caso de que nunca se haya limpiado
- Limpieza de los intercambiadores fluido frigorífico-agua (evaporador y condensador): rentabilidad del 15 al 25%.

Por otra parte, la ausencia de mantenimiento puede generar grandes sobreconsumos:

- Degradación de la calidad del agua del circuito de condensación, ausencia de suavizadores y tratamientos: sobreconsumo del 5 al 20%

## 7 EJEMPLOS

### 7.1 Free cooling

Se simula el comportamiento de un edificio de oficinas tipo de 3000 m<sup>2</sup>, se climatiza a una temperatura de 24 °C y la temperatura exterior es inferior a 18°C. Se encontró una disminución en el consumo eléctrico del aire acondicionado:

- 44% si el edificio tiene una alta inercia térmica (no hay falsos techos, térmica (no hay falsos techos, falsos suelos, paredes de concreto)
- 21% si el edificio tiene poca inercia térmica (falsos techos y suelos, tabiques de cartón yeso).

El caso es presentado de manera ideal, suponiendo la disponibilidad de un sistema de apertura automática regulada de acuerdo a las temperaturas. Estas estimaciones deben ajustarse a la baja en caso de que la gestión del freecooling se realice de forma manual.

### 7.2 Ventilación mecánica

Comparando dos sistemas, una persona en una oficina climatizada a 26°C durante el día.

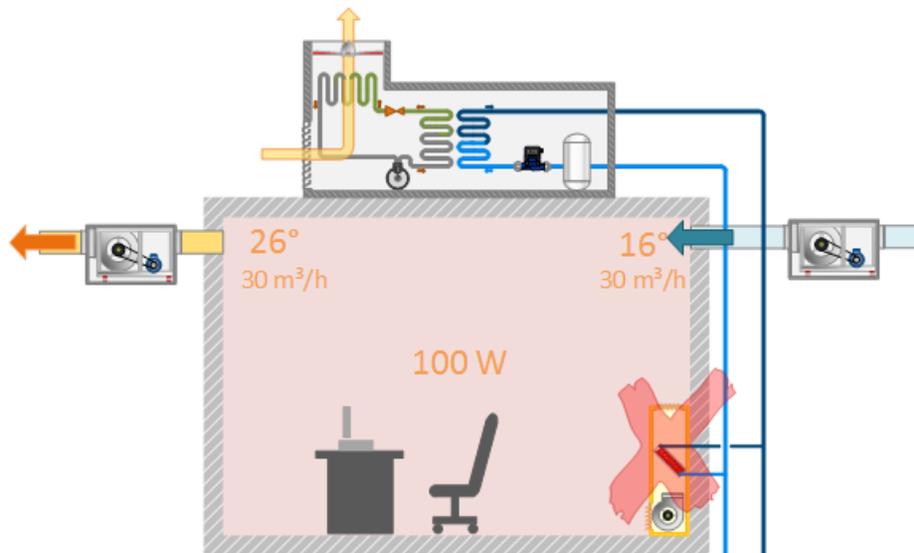
Tabla 10 Tabla datos ejemplo Ventilación mecánica

Sistemas	Día	Noche
Sistema 1	Fan&coils	Ventilación higiénica doble flujo
Sistema 2	Fan&coils	Fan&Coils, Corte de la ventilación

#### 7.2.1 Sistema 1

Durante la noche los fan&coils permanecen apagados, la renovación de aire (30 m<sup>3</sup>/h) se mantiene en operación aprovechando la disponibilidad de frío del aire exterior.

Figura 173: Esquema ilustrativo 1 Ejemplo ahorro ventilación



Si la temperatura de inyección del aire es menor a 16°C (equivalente a una temperatura exterior de aproximadamente 14°C si se considera que la pérdida de la soplante y las pérdidas de presión aumentan la temperatura del aire renovado en 2°C, la capacidad de refrigeración proporcionada equivale a:

$$0,34 \text{ [W/(m}^3\text{/h).K]} \times 30 \text{ [m}^3\text{/h]} \times (26 \text{ [}^\circ\text{C]} - 16 \text{ [}^\circ\text{C]}) = 100 \text{ [W]}$$

La potencia absorbida por los ventiladores (suministro y extracción) necesarios para este escalonamiento es del orden de 0.65 W/( m³/h) (orden de magnitud actual para una renovación de aire de doble flujo equivalente a una pérdida de presión de 1500 PA y un rendimiento total del ventilador de 0.65, dado:

$$0,65 \text{ [W/(m}^3\text{/h)]} \times 30 \text{ [m}^3\text{/h]} = 19,5 \text{ [W]}$$

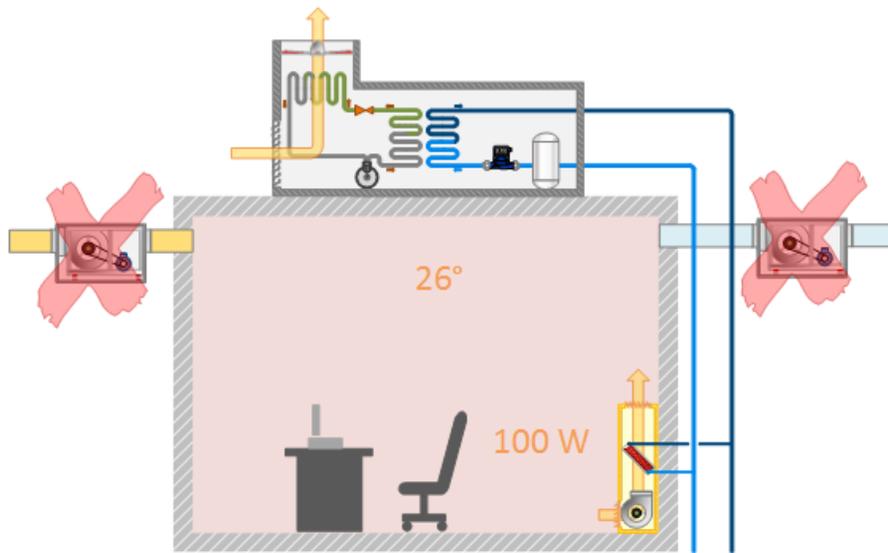
### **Conclusión:**

De los resultados obtenidos la potencia eléctrica de 19.5 kW producirán 100 W de frío.

## **7.2.2 Sistema 2**

Durante la noche, la ventilación se para y los fancoils aseguran la disminución nocturna de la temperatura.

Figura 174 Esquema ilustrativo 2 Ejemplo ahorro ventilación



Para entregar la misma potencia frigorífica que en el primer sistema, es decir 100 W, el sistema de climatización consumirá (considerando un COP de 3)

$$100 \text{ W} / 3 = 33 \text{ W la producción de frío}$$

1 W para bomba de circulación de agua fría,

•  $50 \text{ [W]} / 20 = 2,5 \text{ [W]}$  para el ventilador de la bobina del ventilador (ventilador de un kW convector ventilador 2 absorbe una potencia cercana de 50 W).

### **Balance:**

Por lo tanto consumimos 36.5 W para producir 100 W de energía frigorífica.

## **7.3 Temperatura de consigna**

¿Cuál es el impacto de una temperatura establecida en 24 ° o 25 ° en verano?

### **Hipótesis**

Una simulación por ordenador realizada en una oficina de tipo local en la fachada sur con acristalamiento doble ordinario, los ingresos internos ( $30 \text{ W} / \text{m}^2$ ), ocupando 10 h / día, 5 días / semana.

### **Situación 1**

Fijado en 25 ° C: el consumo de refrigeración: 100% (referencia)

## **Situación 2**

Fijado en 24 ° C: el consumo de refrigeración: 129%!

(Este alto aumento es debido al hecho de que en este nivel de temperatura, un aumento de 1 ° C provoca un incremento en el tiempo de enfriamiento).

## **7.4 Almacenamiento de frío**

### **Ejemplo de selección**

Para explicar el proceso de selección, se optó por utilizar un ejemplo de una planta en el principio de reparto interno.

\* Suponiendo

- Pico de carga 1 000 kilovatios
- Un régimen de temperatura de 12 ° C / 7 ° C
- Un enfriamiento necesario entre las 8 am y 18 horas (10 horas)
- Una carga total de enfriamiento 8.000 kWh

### **Hipótesis**

- Pico de carga 1 000 kilovatios
- Un régimen de temperatura de 12 ° C / 7 ° C
- Un enfriamiento necesario entre las 8 am y 18 horas (10 horas)
- Una carga total de enfriamiento 8.000 kWh

### **Se solicita**

La selección de un sistema de almacenamiento de hielo para una máquina de refrigeración lo más pequeño posible.

La máquina de refrigeración más pequeña es la que funciona las 24 hr.

Para la fabricación de hielo de la máquina de refrigeración producirá glicol a una temperatura negativa (por ejemplo, - 5 ° C). Pero, durante el día, la máquina de refrigeración funcionará a temperaturas positivas en la medida en que sólo se pre-enfriar el glicol a 12 °. Su poder es limitado, el hielo se asegurará el post-enfriamiento.

Las características de funcionamiento de la máquina de refrigeración no son idénticos para la producción de hielo durante el día y por la noche, cuando el hielo de decisiones, la máquina tiene una potencia de alrededor de 65 a 70% de la potencia nominal. Este valor de 70% es sólo indicativo y deberá ser comprobada a posteriori con los proveedores de la máquina de refrigeración basada en la evaporación y condensación temperaturas reales.

En nuestro ejemplo, tenemos un tiempo de fabricación de hielo de 14 horas y un tiempo para emitir 10 horas. Por consiguiente, la máquina de refrigeración operará 10 horas a 100% de capacidad y 14 horas a la capacidad de 70%. La cantidad total de suministro de agua fría es de 8 000 kWh. Por lo tanto, si comparamos el producto frío al frío necesario, obtenemos:

$$(10 \text{ h} \times 100 \% \text{ de cap.}) + (14 \text{ h} \times 70 \% \text{ de cap.}) = 8\,000 \text{ kWh}$$
$$\text{cap.} \times (10 + 14 \times 0,7) = 8\,000 \text{ kWh}$$
$$\text{cap.} = 404 \text{ kW}$$

Por tanto, el enfriador proporcionará 404 kW durante la fusión y 70% de este valor para la fabricación de hielo, o 283 kW.

El almacenamiento de energía hielo requerido es igual al tiempo de fabricación multiplicado por la potencia la producción de frío durante la producción, ya sea:

$$14 \text{ horas} \times 283 \text{ kW} = 3\,960 \text{ kWh.}$$

Encontramos el mismo almacenamiento de energía restando de la carga de enfriamiento total de 8.000 kWh de energía fría suministrada por la máquina de refrigeración durante la fusión:

$$8\,000 \text{ kWh} - (10 \text{ h} \times 404 \text{ kW}) = 3\,960 \text{ kWh.}$$

### **Conclusiones**

Se necesita una unidad de acumulación de hielo de una capacidad mínima de almacenamiento de 3960 kWh.

Si el depósito tiene una capacidad de 50 kWh / m<sup>3</sup> debe ser proporcionada a un almacenamiento:

$$3\,960 / 50 = 80 \text{ m}^3$$

## **7.5 Free chilling**

Como mejoras en la instalación se propuso aprovechar la renovación de una torre de enfriamiento, adoptando la técnica de refrigeración libre (free-chilling) en el circuito de agua fría. También se adaptó los emisores para trabajar en un régimen de 12-17 ° C. Esto favoreció la

refrigeración nocturna del local, que no crea incomodidad para los ocupantes, además de mejorar la refrigeración libre (free-chilling), ya que la temperatura es más baja por la noche.

En colaboración con la empresa de mantenimiento, adoptó el siguiente diagrama:

El diagrama de la izquierda muestra el circuito de refrigeración convencional del agua de hielo en el evaporador. El agua del condensador se enfría en la torre de enfriamiento.

Figura 175 Esquema ilustrativo 1 Ejemplo Free chilling

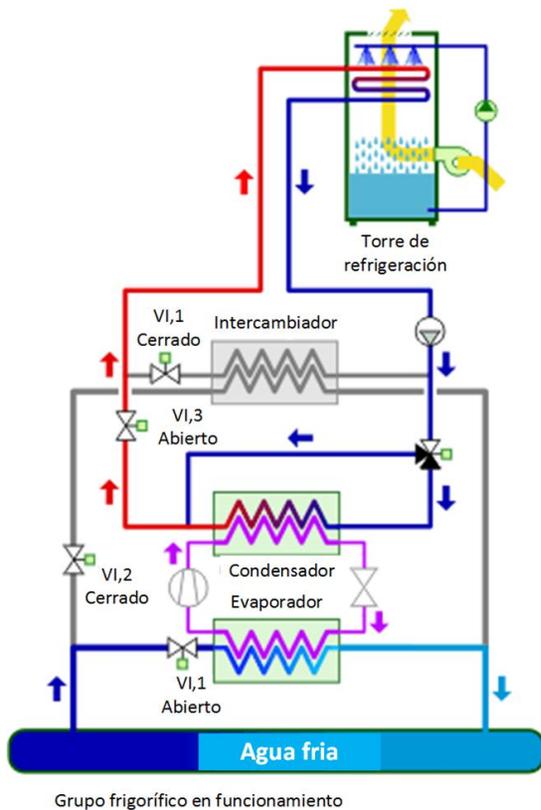
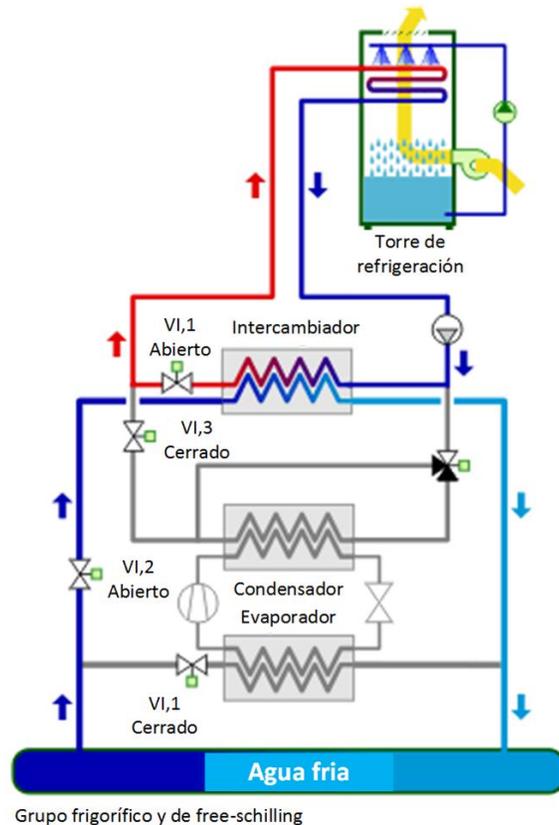


Figura 176 Esquema ilustrativo 2 Ejemplo Free chilling



En el diagrama de la derecha, la unidad de refrigeración se detiene y el agua de hielo es por-pasado a través de un intercambiador de calor. El agua de refrigeración se alimenta directamente en la torre de enfriamiento.

Un juego de solenoide permite cambiar de un sistema a otro, tan pronto como la temperatura exterior desciende por debajo de  $8^{\circ}\text{C}$ . El dimensionamiento de la torre se calculó en consecuencia.

### Problema encontrado durante el inicio

Cuando el sistema se balanceaba modo de modo "free cooling" a la "máquina de refrigeración", ¿se activa automáticamente!

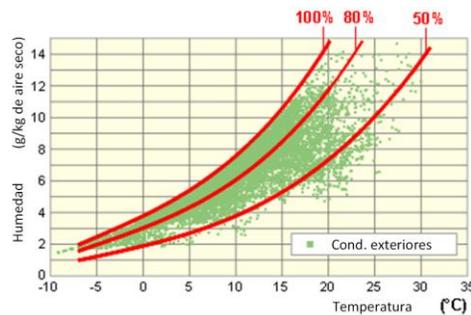
¿Por qué? Un condensador tradicional trabaja con un sistema de 27/32 ° C con 10 ° exterior. O en el modo de refrigeración libre, la temperatura del condensador es mucho menor. Condensación de presión también. El regulador no lo acepta: necesita una diferencia de alta presión (entre condensación y evaporación) para funcionar bien y permitir un flujo de refrigerante suficiente para el evaporador. El interruptor de baja presión provoca...

Una válvula de tres vías motorizada se ha instalado: Cuando volver a cerrar la máquina nevera, el flujo de agua de la torre fue modulada para que coincida con la capacidad de enfriamiento del condensador.

### ¿Qué rentabilidad?

Sin una medida eficaz, vamos a calcular los ahorros al detener la unidad de refrigeración de 300 kW. Si el archivo meteorológico anuncia 3550 horas por debajo de 8 ° C, se estima que el enfriamiento real es más de 2000 horas.

Figura 177 Diagrama ilustrativo Ejemplo Free chilling



Basado en un promedio de COP 2.5, por lo que se evita que el compresor eléctrico de 120 kilovatios. Consumo adicional de 5 kW se observa para el bombeo de agua a través del intercambiador de calor y en la torre. Una ganancia de 115 kilovatios durante 2000 horas. Sobre la base de 0.075 € / kWh es € 17.000 que se guarda en la factura de electricidad.

La inversión asciende a € 60.000, de los cuales la mitad de los cerrados torre de 360 kilovatios, el resto en las tuberías, la regulación y la ingeniería civil.

El periodo de recuperación sencilla es de 4 años a partir de la orden.

### Secuencia de regulación de la torre

- Si  $T < 2\text{ ° C}$ , ningún intercambio aire-agua forzada
- Si  $2\text{ ° C} < T < 4\text{ ° C}$ , el intercambio de aire forzado de agua
- Si  $OT > 4\text{ ° C}$ , el intercambio de agua-aire de pulverización húmeda

## 7.6 Reducir iluminación

Por ejemplo, si 2500 lm que se aplicarán como los balances energéticos de las diferentes instalaciones se convierten en:

Tabla 11 Tabla datos ejemplo Iluminación

Tipo de lámpara	Conducción y convección [W]	Radiación [W]		Radiación lumínica [W]
		UV	IR	
Incandescentes 100 W	37.5		187.5	25
Fluorescentes	25.025	0	-1	9.8
		175		
Fluorescente compactas	36	0.225	-1	8.775
Halogenuros metálicos	16.25	0.487	7.962	7.8
Vapor de sodio	12.1		6.875	8.525
(1) En el caso de las lámparas fluorescentes, la superficie estructural es importante, podríamos separar la radiación infrarroja (longitud). Para lámparas fluorescentes compactas esa distinción no tiene sentido.				

Este ejemplo demuestra la ventaja de utilizar lámparas de descarga. Su precio es bajo, tienen larga vida útil y buen índice de reproducción cromática. Las lámparas fluorescentes son la opción más adecuada.

## Bibliografía

1. Energie+, Architecture et Climat, Faculté d'architecture, d'ingénierie architecturale, d'urbanisme (LOCI), Université catholique de Louvain (Belgique), réalisé avec le soutien de la Wallonie - DGO4. Disponible sobre: <http://www.energieplus-lesite.be> .
2. Memotech genier energetique, collection A. Capliez
3. Cours de climatisation “bases de calcul des installations de climatisation. G. Porcher
4. ASHRAE 90.1-2007 Energy Standar for Building Except Low Rise residential Building
5. ASHRAE Handbook Fundamentals 2009
6. ASHRAE 62.1-2007 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality
7. NOM-009-ENER-2005 – Eficiencia energética en aislamientos térmicos industriales
8. Guía técnica de torres de refrigeración – IDAE - Esta publicación está incluida en el fondo editorial del IDAE, en la serie “Ahorro y Eficiencia Energética en Climatización”.
9. Revista EnergiaHoy – Diversos artículos de la sección técnica”

Páginas electrónicas:

<http://www.energieplus-lesite.be/>

<http://www.abcclim.net/>

<http://www.idae.es/>

## ANEXO 1: Conversión de Unidades

FACTORES DE CONVERSIÓN	
<b>Longitud</b>	<b>Velocidad</b>
1 m = 39.37 in = 3.28 ft 1 in = 2.54 cm = 25.4 mm 1 ft = 12 in	1 ft/min, fpm = 0.00508 m/s 1 ft/s, fps = 0.3048 m/s 1 m/s = 196.85 ft/min
<b>Masa</b>	<b>Temperatura</b>
1 kg = 2.2046 lb 1 lb = 0.4535 kg 1 kg = 35.27 Oz	Celsius = $x+273.15$ °K Celsius = $1.8 x+32$ °F Fahrenheit = $(x-32)/1.8$ Kelvin = $x-273.15$ °C
<b>Volumen</b>	<b>Presión</b>
1 l = 0.2641 gal 1 m <sup>3</sup> = 1000 l 1 m <sup>3</sup> = 264.17 gal 1 gal = 3.7854 l	1 kg/cm <sup>2</sup> = 14.22 lb/in <sup>2</sup> = 14.22 psi 1 kg/cm <sup>2</sup> = 0.9806 bar 1 atm = 1.01325 bar 1 atm = 14.7 lb/in <sup>2</sup>
<b>Energía</b>	<b>Flujo</b>
1 HP = 0.746 kW = 746 Watts 1 kW = 1000 Watts = 3413 BTU/hr 1 kWh = 3.6 MJ 1 TR = 3.517 kW 1 TR = 12000 BTU/hr 1 kW = 859.8452 kcal/hr 1 BTU = 0.251995 kcal	1 m <sup>3</sup> /min = 264.17 gal/min, gpm 1 gal/min, gpm = 3.7854 l/min 1 gal/min, gpm = 0.0631 l/s 1 l/min = 0.2641 gal/min, gpm 1 ft <sup>3</sup> /min, (cfm) = 0.02831 m <sup>3</sup> /min 1 m <sup>3</sup> /s = 2118.88 f <sup>3</sup> /min, cfm 1 m <sup>3</sup> /min = 35.3146 ft <sup>3</sup> /min, cfm
<b>Combustible</b>	
GLP (PCI) = 11000 kcal/kg GN (PCI) = 8205 kcal/m <sup>3</sup> 1 kWh PCI = 1/277.77 GJ	

Abreviaturas	
BTU = Unidad Térmica Británica	fps = Pies por segundo
in = Pulgadas	GLP = Gas LP
ft = Pies	GN = Gas natural
gal = Galones	HP = Caballos de potencia
lb = Libras	W = Watts
gpm = Galones por minuto	TR = Tonelada de Refrigeración
cfm = Pies cúbicos por minuto	PCI = Poder calorífico inferior
fpm = Pies por minuto	

## ANEXO 2: Ganancia de calor por ocupación

Tabla 12 Ganancia de calor latente y sensible ocupación según actividad y temperatura interior

Grado de actividad	Aplicación típica	Relación metabólica de un hombre adulto	Grupo de personas % de composición del grupo			Promedio de la relación metabólica	Temperatura de la zona en °C									
							28		27		26		24		21	
			Hombre	Mujer	Niño		Sen.	Lat.	Sen.	Lat.	Sen.	Lat.	Sen.	Lat.	Sen.	Lat.
Sentado	Teatro	98	45	45	10	88	44	44	49	39	53	35	58	30	66	23
Sentado trabajo ligero	Escuela	113	50	50	0	101	45	55	49	52	54	47	60	40	69	32
Trabajo de oficina, actividad moderada	Oficinas, Hoteles, Dptos.	120	50	50	0	113	50	68	50	63	54	59	62	52	72	42
Parados; caminando despacio	Tienda de ropa, Almacenes	137	10	70	20	113	50	68	50	63	54	71	62	52	72	42
Caminando sentado, de pie, caminado despacio	Cafeterías Bancos	139	21	71	10	126	45	81	50	76	55	71	64	62	73	53
Trabajo sedentario	Restaurantes	126	50	50	0	139	48	91	55	83	60	78	71	68	81	58
Trabajo ligero	Fabrica, trabajo ligero	201	60	40	0	189	48	141	55	134	62	127	74	145	92	72
Baile moderado	Salas de baile	227	50	50	0	214	55	159	62	152	69	145	82	132	101	113
Caminando 5kph	Fábricas, Trabajo algo pesado	252	100	0	0	252	68	184	76	176	83	169	96	156	116	136
Jugando	Boliche	378	75	25	0	365	113	252	117	248	122	243	132	233	152	213

## ANEXO 3: Valores de iluminación por espacios

Tabla 13 Densidad de iluminación por espacios interiores

TIPO DE EDIFICIOS	DPEA (W/m <sup>2</sup> )
<b>Oficinas</b>	
Oficinas	14
<b>Escuelas y demás centros docentes</b>	
Escuelas o instituciones educativas	16
Bibliotecas	16
<b>Establecimientos comerciales</b>	
Tiendas de autoservicio, departamentales y de especialidades	20
<b>Hospitales</b>	
Hospitales, sanatorios y clínicas	17
<b>Hoteles</b>	
Hoteles	18
Moteles	22
<b>Restaurantes</b>	
Bares	16
Cafeterías y venta de comida rápida	19
Restaurantes	20
<b>Bodegas</b>	
Bodegas o áreas de almacenamiento	13
<b>Recreación y cultura</b>	
Salas de cine	17
Teatros	16
Centros de convenciones	15
Gimnasios y centros deportivos	16
Museos	17
Templos	24
<b>Talleres de servicios</b>	
Talleres de servicio para automóviles	16
Talleres	27
<b>Carga y pasaje</b>	
Centrales y terminales de transporte de carga	13
Centrales y terminales de transporte de pasajeros, aéreas y terrestres	16

## ANEXO 4: Ventilación mínima recomendada

Tabla 14 Valores de ventilación mínima por local

TIPO DE LOCAL	POR PERSONA (L/s)	POR m <sup>2</sup> (L/s)	POR LOCAL (L/s)	OTROS (L/s)
Almacenes	-	0.75 a 3	-	-
Aparcamientos	-	5	-	-
Archivos	0.25	-	-	25
Aseos públicos	-	-	15	-
Aseos individuales	-	-	-	-
Auditorios	8	-	-	-
Aulas	8	-	-	-
Autopsia	-	2.5	-	-
Bares	12	12	-	-
Cafeterías	15	15	-	-
Canchas para deporte	-	2.5	-	-
Comedores	10	6	-	-
Cocinas	8	2	-	-
Sala de descanso	20	15	-	-
Dormitorios colectivos	8	1.5	-	-
Escenarios	8	6	-	-
Salas de espera y recepción	8	4	-	-
Estudios fotográficos	-	2.5	-	-
Salas de exposición	8	4	-	-
Salas de fiesta	15	15	-	-
Sala de fisioterapia	10	1.5	-	-
Gimnasio	12	4	-	-
Gradas de recintos deportivos	8	12	-	-
Grandes almacenes	8	2	-	-
Habitaciones de hotel	-	-	15	-
Habitaciones de hospital	15	-	-	-
Imprentas, reproducciones y planos	-	2.5	-	-
Salas de juego	12	10	-	-
Laboratorios	10	3	-	-
Lavanderías industriales	15	5	-	-
Vestíbulos	10	15	-	-
Oficinas	1	-	-	-
Paseos de centros comerciales	-	1	-	-
Pasillos	-	-	-	-
Albercas	2.5	-	-	-

Quirófanos y anexos	15	3	-	-
Salas de reuniones	10	5	-	-
Salas de curas	12	2	-	-
Salas de recuperación	10	1.5	-	-
Supermercados	8	1.5	-	-
Talleres en general	30	3	-	-
Talleres en centros docentes	10	3	-	-
Talleres de reparación automática	-	7.5	-	-
Templos de culto	8	-	-	-
Tiendas en general	10	0.75	-	-
Tiendas de animales	-	5	-	-
Tiendas especiales	-	2	-	-
UVIS	10	1.5	-	-
Vestuarios	-	2.5	-	10



Sistemas de Aire Acondicionado – Tutorial para el trabajo en campo  
Anexo 5: Temperaturas exteriores de diseño

LUGAR DE LA REPUBLICA	UBICACIÓN GEOGRÁFICA				DATOS VERANO			DATOS INVIERNO	
	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altura s.n.m. (m)	Presión Barométrica (mm Hg)	T. Prom. Max. Ext. (°C)	Temperaturas de Cálculo		T. Prom. Min. Ext. (°C)	T. de Cálculo (°C)
						BS	BH		
C.d. de México Chapultepec	19 25'	99 10'	2240	585	33.8	31	17	-4.8	0
C.d. de México Tacubaya	19 24'	99 12'	2309	582	32.8	30	17	-6.5	-1
C.d. de México Santa Fe	19 20'	99 14'	2400	575	32	30	17	-8	-2
C.d. de México Aeropuerto	19 23'	99 11'	2200		34.5	31	17	-4	0
<b>DURANGO</b>									
Durango	24 01'	104 40'	1898	610	35.6	34	17	-5	0
Ciudad Lerdo	25 30'	103 32'	1140	667	45	40	21	-10	-5
Santiago Papasquiaro	25 02'	105 26'	1740	622	42	38	21	-14	-8
<b>GUANAJUATO</b>									
Celaya	20 32'	100 49'	1754	610	41.5	38	20	-4.5	0
Guanajuato	21 01'	101 15'	2037	601	33.8	31	18	0.1	5
León	21 07'	101 41'	1809	617	36.5	34	20	-2.5	2
Salvatierra	20 13'	100 53'	1761	620	38	35	19	-2	3
Irapuato	20 40'	101 21'	1724	623	38.2	35	19	-1.5	3
<b>GUERRERO</b>									
Acapulco	16 50'	99 56'	3	760	35.8	33	27	15.8	19
Chilpancingo	17 33'	99 30'	1250	658	35.2	33	23	5	9
Taxco	18 33'	99 36'	1755	621	36.5	34	20	8	12
Ixtapa Zihuatanejo	17 58'	101 48'	38	757	44	40	27	11.5	14
<b>HIDALGO</b>									
Actopan	20 08'	98 45'	2445	563	31.4	29	18	-5.8	-1
Tulancingo	20 05'	98 22'	2181	590	34.7	32	19	-5.8	-1
Pachuca	20 08'	98 45'	2444	574	31.5	30	18	-6	-1
Ixmiquilpan	20 29'	99 13'	1745	622	41	37	19	-9	-1
<b>JALISCO</b>									
Guadalajara	20 41'	103 20'	1589	633	36	33	20	-3.7	1
Lagos de Moreno	21 22'	101 56'	1880	612	43.2	39	20	-3.2	2
Puerto Vallarta	20 37'	105 15'	2	760	39	36	26	11	14
Ameca	20 34'	104 04'	1235	660	39.6	36	24	1	5
<b>MEXICO</b>									
Texcoco	19 31'	98 52'	2216	588	34	32	19	-6	-1
Toluca	19 17'	99 39'	2675	557	26.8	25	17	-3	-2
Tenancingo	19 02'	99 33'	2080	598	35	33	19	-6	-1
<b>QUERETARO</b>									
Querétaro	20 36'	100 23'	1842	614	36.2	33	21	-4.9	0

Sistemas de Aire Acondicionado – Tutorial para el trabajo en campo  
 Anexo 5: Temperaturas exteriores de diseño

LUGAR DE LA REPUBLICA	UBICACIÓN GEOGRÁFICA				DATOS VERANO			DATOS INVIERNO	
	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altura s.n.m. (m)	Presión Barométrica (mm Hg)	T. Prom. Max. Ext. (°C)	Temperaturas de Cálculo		T. Prom. Min. Ext. (°C)	T. de Cálculo (°C)
						BS	BH		
San Juan del Rio	20 23'	100 00'	1800	610	35.2	32	21	-4.9	0
SAN LUIS POTOSI									
San Luis Potosí	22 09'	100 58'	1877	612	37.3	34	18	-2.7	2
Matehuala	23 36'	100 39'	1597	632	39.8	36	22	-10	-5
Rio Verde	21 56'	99 59'	987	679	41.4	38	24	-5.4	-1
SINALOA									
Culiacán	24 48'	107 24'	53	755	40.9	37	27	31.1	7
Mazatlán	23 11'	106 25'	78	753	33.4	31	26	11.2	14
Topolobampo	25 36'	109 03'	3	760	41.1	37	27	8	12
El Fuerte	26 25'	108 38'	115	750	47.3	42	28	-4.5	1
Guamúchil	25 27'	108 05'	43	756	43	39	27	-3	2
SONORA									
Guaymas	27 55'	110 53'	4	760	47	42	27	7	11
Hermosillo	29 05'	110 58'	211	742	45	41	28	2	6
Nogales	30 21'	110 58'	1117	664	41	37	26	-2.5	0
Ciudad Obregón	27 29'	109 55'	40	757	48	43	28	-1.1	4
Altar	30 44'	111 46'	397	726	47	42	28	-1	4
Navojoa	27 07'	109 28'	38	757	46	41	28	-1	4
TABASCO									
Villahermosa	17 59'	92 55'	10	759	41	37	26	12.2	15
Álvaro Obregón	16 32'	92 39'	2	760	44.5	40	29	14	16
Otras ciudades	17 33'	92 57'	60	753	41	37	26	11	14
VERACRUZ									
Jalapa	19 32'	96 55'	1399	647	34.6	32	21	2.2	6
Poza Rica	20 33'	97 28'	150	748	40	37	27	0.5	4
Orizaba	18 51'	97 05'	1246	659	37	34	21	1.5	6
Veracruz	19 12'	96 08'	16	758	35.6	33	27	9.6	13
Coatzacoalcos	18 09'	94 24'	14	759	41	37	28	10	13.5
Tuxpan	20 57'	97 24'	15	760	40.4	37	27	8	5.5
MICHUACAN									
Apatzingán	19 05'	102 15'	682	703	43	39	25	11.5	15
Morelia	19 42'	101 07'	1923	609	31.3	30	19	1.6	6
Zamora	19 59'	102 18'	1633	630	37.5	35	20	-0.2	4
Zacapu	19 45'	101 45'	2000	603	34.8	32	19	-6	-1
La Piedad	20 20'	102 01'	1775	619	37	34	20	-3	2
Uruapan	19 25'	101 58'	1611	631	36.5	34	20	-0.5	4
MORELOS									

Sistemas de Aire Acondicionado – Tutorial para el trabajo en campo  
Anexo 5: Temperaturas exteriores de diseño

LUGAR DE LA REPUBLICA	UBICACIÓN GEOGRÁFICA				DATOS VERANO			DATOS INVIERNO	
	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altura s.n.m. (m)	Presión Barométrica (mm Hg)	T. Prom. Max. Ext. (°C)	Temperaturas de Cálculo		T. Prom. Min. Ext. (°C)	T. de Cálculo (°C)
						BS	BH		
Cuautla	18 48'	98 57'	1291	655	47.4	42	22	5.3	9
Cuernavaca	18 55'	99 14'	1538	637	32.6	31	20	6.9	11
Puente de Ixtla	18 37'	99 10'	900	686	42	38	22		
NAYARIT									
San Blas	21 32'	105 19'	7	760	36	33	26	7.3	11
Tepic	21 31'	104 53'	918	684	38.9	36	26	1.9	6
Acaponeta	22 30'	105 23'	25	758	40	37	27		
NUEVO LEON									
Montemorelos	25 12'	99 50'	432	724	42.8	39	25	0.5	5
Monterrey	25 40'	100 18'	534	715	41.5	38	26	5.4	0
Lampazos	27 02'	100 31'	340	731	41.5	38	25	-10.5	-5
OAXACA									
Oaxaca	17 04'	96 42'	1563	635	38	35	22	24	7
Salina Cruz	16 12'	95 12'	56	755	36.8	34	26	16	19
Huajuapán de León	17 48'	97 47'	1597	632	42	38	22	-5	0
Pochutla	15 44'	96 38'	1163	746	40	37	27		
PUEBLA									
Puebla	19 02'	98 11'	2150	593	30.8	29	17	-1.5	3
Tehuacán	18 18'	97 23'	1676	627	37	34	20	-5	0
Teztlitlán	19 48'	97 21'	1990	604	39	36	22	-4.2	0
Huachinango	20 10'	98 03'	1600	632	40.5	37	21	-3	2
YUCATAN									
Mérida	20 58'	89 38'	22	758	41	37	27	11.6	15
Progreso	21 17'	89 40'	14	759	38.8	36	27	13	16
Valladolid	20 41'	88 13'	22	758	40	37	27	11.6	15
ZACATECAS									
Fresnillo	23 10'	102 53'	2250	586	39	36	19	-4.5	0
Zacatecas	22 47'	102 54'	2612	561	29	28	17	-7.5	-2
Sombrerete	23 39'	103 37'	2350	579	36.5	34	18	-9	-4
QUINTANA ROO									
Cozumel	20 31'	86 57'	3	760	35.8	33	27	10.3	14
Chetumal	18 30'	88 20'	4	760	37	34	27	9.5	13
Cancún	19 35'	88 02'	3	760	37	33	27	6.5	12
Playa del Carmen	19 10'	88 15'	3	760	38	34	27	10	14
TAMAULIPAS									

Sistemas de Aire Acondicionado – Tutorial para el trabajo en campo  
 Anexo 5: Temperaturas exteriores de diseño

---

LUGAR DE LA REPUBLICA	UBICACIÓN GEOGRÁFICA				DATOS VERANO			DATOS INVIERNO	
	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altura s.n.m. (m)	Presión Barométrica (mm Hg)	T. Prom. Max. Ext. (°C)	Temperaturas de Cálculo		T. Prom. Min. Ext. (°C)	T. de Cálculo (°C)
						BS	BH		
Matamoros	25 32'	87 20'	12	759	39.3	37	26	1.8	4.3
Nuevo Laredo	27 29'	99 30'	140	748	45	41	32	-7	-2
Tampico	22 12'	97 81'	18	738	39.3	36	26	-2.5	2
Ciudad Victoria	23 44'	99 08'	221	733	41.7	36	26	-2.3	2
Reynosa	23 46'	98 12'	25	758	45	41	28	-7.7	-3
TLAXCALA									
Tlaxcala	19 32'	98 15'	2252	686	29.4	28	17	-1.4	3
Cuautla	18 48'	98 57'	1291	655	47.4	42	22	5.3	9

## ANEXO 6: Temperaturas interiores recomendadas

Tabla 15 Temperaturas recomendadas por espacios interiores

TIPO DE UNIDAD / ESPACIO	ENFRIAMIENTO		CALEFACCION	
	TEMPERATURA BH °C	HUMEDAD %RH	TEMPERATURA DE BH °C	HUMEDAD %RH
<b>EDIFICIOS DE OFICINAS, INSTALACIONES COMERCIALES</b>				
Oficinas	23.8	50	21.2	-
Salas de conferencia, Salas de reuniones, Salas de entretenimiento, Salas de clases	23.8	50	21.2	-
Recepción, Lobbies, Pasillos	23.8	50	21.2	-
Aulas de informática	22.2 ± 2	-	22.2 ± 2	-
Áreas de telecomunicaciones / Entrada de datos (SITE)	23.8	50	21.2	-
<b>ESPACIOS GENERALES</b>				
Cuartos mecánicos / Eléctricos / Equipos	29.4 - 32.2	-	15.5	-
Cuartos de elevadores	29.4 - 32.2	-	18.3	-
Cuartos de telecomunicaciones	22.2 ± 2	-	22.2 ± 2	-
Baños, Vestidores, Regaderas	25.5	50	21.2	-
Armarios, Servicios de limpieza	29.4	-	15.5	-
Lobbies, Pasillos, Lobbies elevadores, Atrios	23.8	50	21.2	-
Vestíbulos, Entradas, Escaleras	-	-	15.5	-
Escaleras en el perímetro del edificio o con vidrio	26.6	-	15.5	-
Almacén	25.5	50	21.2	-
Estacionamientos abiertos	-	-	-	-
Estacionamientos cerrados	-	-	10	-
<b>ESPACIOS EDUCATIVOS</b>				
Auditorios, Gimnasios, Salón de usos múltiples	23.8	50	21.2	-
Salón de clases, Cuartos de lectura	23.8	50	21.2	-
Laboratorios secundaria	23.8	50	21.2	-
Laboratorios universitarios	23.8 ± 2	45 ± 2	22.2 ± 2	-
Bibliotecas	23.8	50	21.2	-
Salones de música, Salones de arte	23.8	50	21.2	-
Talleres de capacitación	23.8	50	21.2	-
<b>COMIDAS Y SERVICIO DE BEBIDAS</b>				
Restaurante, Comedores, Bar, Salones, Salón de cocteles	23.8	50	21.2	-
Cafetería, Comida rápida	23.8	50	21.2	-
Cocinas, Lavatrazos	26.6	-	20	-
<b>HOTELES, MOTEL, RESORTS Y DORMITORIOS</b>				
Salones de conferencias, salones de reuniones, Salones de baile	23.8	50	21.2	-
Dormitorios, Baños	23.8	50	21.2	-

Zonas de dormitorios	23.8	50	21.2	-
Salas de estar, Comedores	23.8	50	21.2	-
Casinos, Salas de juegos	23.8	50	21.2	-
<b>INSTALACIONES CORRECCIONALES</b>				
Celdas	23.8	50	21.2	-
Comedores, Habitaciones de día	23.8	50	21.2	-
Estación de Guardia	23.8	50	21.2	-
<b>TIENDAS MINORISTAS Y TIENDAS ESPECIALIZADAS</b>				
Centros comerciales	23.8	50	21.2	-
Tiendas departamentales, supermercados, salas de exposición	23.8	50	21.2	-
Vestidores	23.8	50	21.2	-
Envío y Recepción	-	-	15.5	-
Almacén	25.5	50	21.2	-
Peluquería, Salas de belleza, Salón de uñas	23.8	50	21.2	-
Hardware, Farmacias, Tiendas de telas, Tiendas especializadas	23.8	50	21.2	-
Tiendas de Animales	23.8	50	21.2	-
Salas de exposición de automóviles	23.8	50	21.2	-
<b>TEATROS</b>				
Auditorios, Salones de Conciertos, Salas de arte, zonas de estar	23.8	50	21.2	-
Estudios de arte, Áreas de actuación	22.2 ± 2	40 ± 5	22.2 ± 2	40 ± 5
3D Teatros	23.8	50	21.2	-
Lobbies, Taquillas, ventanas de guardia	23.8	50	21.2	-
<b>DEPORTES Y ENTRETENIMIENTOS</b>				
Salones de baile, Discotecas	23.8	50	21.2	-
Boleramas, Cuartos de juegos	23.8	50	21.2	-
Campos de tiro	23.8	50	21.2	-
Gimnasios, Pisos de juego	23.8	50	18.3	-
Albercas	23.8	50	21.2	-
Zonas de espectadores	23.8	50	21.2	-
<b>TRANSPORTE</b>				
Estación de autobús, Aeropuertos	23.8	50	21.2	-
Salas de espera	23.8	50	21.2	-
<b>INSTALACIONES DE ALMACENAMIENTO</b>				
Taller de reparaciones	-	-	18.3	-
Almacenes	25.5	50	21.2	-
<b>CUARTOS DE TRABAJO</b>				
Cajas de Seguridad	23.8	50	21.2	-
Cuartos Oscuros	23.8	50	21.2	-
Cuartos de fotocopiado e impresión	23.8	50	21.2	-
Farmacia	23.8	50	21.2	-
Estudios fotográficos	23.8	50	21.2	-
<b>VIVIENDA PRIVADA, SIMPLE Y MULTIPLE</b>				

Salas de estar, Comedores, Recamaras, Cocinas	23.8	50	21.2	-
Baños	25.5	50	21.2	-
Estacionamientos	-	-	10	-
<b>LABORATORIOS, SERVICIOS INFORMATICOS, INSTALACIONES ESPECIALES</b>				
Laboratorios de investigación	22.2 ± 2	45 ± 5	22.2 ± 2	45 ± 5
Aulas de informática, Datacenters, IDF, Salas de servidores, Cuartos eléctricos	21.2 ± 2	45 ± 5	21.2 ± 2	45 ± 5
Alta tecnología	20 ± 2	45 ± 5	20 ± 2	45 ± 5
Alta tecnología (baja humedad)	20 ± 2	35 ± 5	20 ± 2	35 ± 5
Salas de investigación animal	20 - 28.8 ± 2	40 - 70 ± 5	20 - 28.8 ± 2	40 - 70 ± 5
Museos, Galerías, Bibliotecas especiales, Archivos especiales	22.2 ± 2	40 ± 5	22.2 ± 2	40 ± 5
<b>UNIDADES DE ENFERMERIA EN HOSPITALAES</b>				
Salas de pacientes	23.8	50	21.2	-
Baños	23.8	50	21.2	-
Salas de recién nacidos	23.8	50	22.2	30
Salas de protección del medio ambiente	23.8	50	21.2	-
Ante sala de protección del medio ambiente	23.8	50	21.2	-
Sala de aislamiento	23.8	50	21.2	-
Ante sala de aislamiento	23.8	50	21.2	-
Corredores para pacientes	23.8	50	21.2	-
<b>INSTALACIONES OBSTETRICAS</b>				
Salas de parto	22.2	50	22.2	30
Salas de parto/alumbramiento/recuperación	23.8	50	21.2	-
Salas de parto/alumbramiento/recuperación/postparto	23.8	50	21.2	-