

FUNDAMENTOS DE CLIMATIZACIÓN

Para instaladores e ingenieros recién titulados

2ª edición. Revisada y actualizada con cambios reglamentarios



© ATECYR

Edita: ATECYR
c/Agastia, 112A
28043 Madrid

Producción y realización:
ATECYR

ISBN: 978-84-95010-34-6
Dep. Legal: M-6189-2020

* Queda prohibida la total o parcial reproducción del contenido de este documento salvo expresa autorización de Atecyr.

**Primera edición 2010
2000 ejemplares**

**Reimpresión 2019
1000 ejemplares**



**Segunda edición 2019
2000 ejemplares**



CURSOS PROPIOS de ATECYR

Un proyecto: Formar a técnicos especialistas en climatización

Desde su fundación el 8 de junio de 1974 la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR) nace con una clara vocación de servicio y con el objetivo de aunar esfuerzos de profesionales del sector para la consecución de un mejor desarrollo e implantación de las tecnologías de climatización, calefacción y refrigeración, en España. De este modo, ATECYR desde su comienzo, adquiere por derecho propio un protagonismo substancial en los procesos de normalización, información, **formación**, control de calidad, control de polución y el uso racional de la energía en el ámbito tecnológico de la climatización y la refrigeración.

ATECYR cumple al pie de la letra con su carácter asociativo y transforma, fielmente, los fines que figuran en sus estatutos en objetivos a cumplir y en forma de trabajar.

ATECYR dirige sus acciones hacia la **técnica de la Climatización** (calefacción, ventilación y acondicionamiento del aire) y sus actividades anexas y que uno de sus objetivos es **dedicarse al estudio de su problemática, su ordenación, reglamentación, protección y divulgación del conocimiento**. Con una clara visión de futuro ya se mencionaba lo de las actividades anexas, como pueden ser, hoy en día, el ahorro y diversificación energética, la disminución de las emisiones de CO₂ o los problemas con la agresión a la capa de ozono, y se daba especial relevancia, hace 45 años, a la ingeniería del medio ambiente.

La actividad de la asociación descansa en dos pilares fundamentales: Las Agrupaciones como grandes generadoras de nuestra actividad y como instrumentos que nos permitan la cercanía y el servicio al socio y el Comité Técnico, compuesto por un grupo de expertos muy respetados en nuestro sector, que, de alguna manera, han marcado las tendencias y la forma de hacer las cosas en los últimos años y que se constituye como el gran dinamizador de toda nuestra actividad.

Durante el año 2019 se ha desarrollado una intensa actividad formativa y divulgativa. 50 jornadas con 3.388 asistentes y 16 cursos con 672 alumnos, además de completar la VIII edición del Curso de Experto de Climatización y la V del Curso de Experto de Refrigeración. Pero lo más importante es el desarrollo de los contenidos formativos (cursos propios, documentos técnicos, guías de eficiencia energética etc...

Pensamos que nuestra aportación principal a la ingeniería y a la sociedad en general es ofrecer valiosas herramientas para la formación y el reciclaje.

El Comité Técnico de ATECYR viene trabajando desde sus orígenes, en la elaboración de una ingente documentación de divulgación científico-técnica sobre temas relacionados con el sector de climatización y refrigeración. Entre esta documentación, se encuentran traducciones de libros y artículos considerados de interés y bibliografía propia.

El Fundamento de Climatización es un libro de texto que se usa como base del Curso de Experto de Climatización de Atecyr y también acompaña a un curso de 40 horas lectivas de iniciación a la Climatización. En el fundamento se pretende asentar los conocimientos básicos en Climatización que un recién titulado debe de tener antes de enfrentarse a un proyecto de instalaciones de Climatización.

En sus once capítulos se recoge un amplio número de temas, desde las propiedades del aire húmedo, cálculo de cargas térmicas, sistemas de Climatización, modo de selección de las rejillas de difusión de aire, sin olvidarse claro está, de la normativa y legislación aplicable a este sector.

Por tanto el tándem curso más fundamento es una herramienta clave que ayudara al técnico en su futura actividad profesional en el sector de la Climatización.

ATECYR cuenta con un grupo de socios comprometidos con los fines de la asociación, que han trabajado y trabajan de una forma desinteresada por mantener el nivel y el prestigio evolucionando hacia las nuevas tendencias técnicas, tecnológicas y de mercado. Gracias a ellos ha sido posible la reedición de este Fundamentos de Climatización, que se editó por primera vez en 2010 y que ahora hemos revisado y actualizado con los cambios legislativos que se han producido recientemente. Este fundamento se ha convertido en un manual de referencia que ha sido incorporado como libro de texto en las Universidades de Vigo, Bilbao, Tarragona, Valencia, Albacete, Elche, Málaga, Valladolid, Madrid, Zaragoza e ICAI entre otras.

Sólo queda agradecer su aportación a los patrocinadores de cada capítulo, sin cuya ayuda sería imposible completar este interesante proyecto.

Miguel Ángel Llopis Gómez
Presidente de ATECYR

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN A LA CLIMATIZACIÓN

1.1	Introducción	1
1.2	El diseño de un sistema de climatización	2
1.2.1	Condiciones exteriores	2
1.2.2	Arquitectura	3
1.2.3	Condiciones interiores	4
1.3	Pasado y futuro de la climatización	4
Problemas	.....	5
Referencias	.....	6

CAPÍTULO 2 PROPIEDADES DEL AIRE HÚMEDO. DIAGRAMA PSICROMÉTRICO

2.1	Introducción	9
2.2	Aire seco	10
2.3	Vapor de agua	11
2.4	Aire húmedo	11
2.5	Variables psicrométricas del aire húmedo	12
2.5.1	Presión total	13
2.5.2	Presión del aire seco	13
2.5.3	Presión del vapor de agua.....	13
2.5.4	Humedad específica	14
2.5.5	Presión de vapor saturado.....	14
2.5.6	Grado de saturación	16
2.5.7	Humedad relativa.....	16
2.5.8	Temperatura seca	17
2.5.9	Temperatura de rocío.....	17
2.5.10	Entalpía del aire seco	19
2.5.11	Entalpía del vapor de agua	19
2.5.12	Entalpía del aire húmedo.....	20
2.5.13	Temperatura húmeda o de bulbo húmedo (Tg).....	21
2.5.14	Temperatura de saturación adiabática (Th).....	24
2.5.15	Relación entre temperatura húmeda y de saturación adiabática	26
2.5.16	Volumen específico del aire húmedo.....	26
2.5.17	Densidad del aire húmedo.....	27
2.5.18	Presión atmosférica	27
2.6	Relación entre pares de variables psicrométricas	29
2.7	El diagrama psicrométrico	33
2.7.1	Construcción de los diagramas	34
2.8	Diagrama MOLLIER	36
2.8.1	Principios del diagrama	36
2.8.2	Líneas de entalpía constante.....	37
2.8.3	Líneas de humedad específica constante	37
2.8.4	Líneas de presión de vapor constante.....	37
2.8.5	Líneas de temperatura seca constante	37
2.8.6	Líneas de humedad relativa constante	38
2.8.7	Líneas de temperatura húmeda constante	38
2.8.8	Líneas de temperatura de rocío constante	38
2.8.9	Líneas de volumen específico constante.....	39
2.9	Diagrama Ashrae	40
2.9.1	Principio del diagrama	40
2.9.2	Líneas de entalpía constante.....	40
2.9.3	Líneas de humedad específica constante	40
2.9.4	Líneas de temperatura seca constante	40
2.9.5	Líneas de humedad relativa constante	41
2.9.6	Líneas de temperatura húmeda constante	41
2.9.7	Líneas de volumen específico constante.....	41

2.9.8	Otras variables.....	41
2.10	Diagrama Carrier	42
2.10.1	Principios del diagrama	42
2.10.2	Líneas de temperatura seca constante	42
2.10.3	Líneas de humedad específica constante	42
2.10.4	Líneas de humedad relativa constante	42
2.10.5	Líneas de temperatura húmeda constante	43
2.10.6	Líneas de entalpía constante.....	43
2.10.7	Líneas de volumen específico constante.....	43
2.10.8	Otras variables.....	43
Referencias		44

CAPÍTULO 3 PROCESOS ELEMENTALES

3.1	Introducción	47
3.2	Principios de conservación de masa y energía aplicados al aire húmedo	47
3.3	Mezcla adiabática de dos corrientes de aire húmedo	50
3.4	Análisis de los procesos con una única corriente de aire	56
3.4.1	Balances de masa y energía en una corriente de aire húmedo	56
3.4.2	Recta de maniobra	57
3.4.3	Calor sensible y latente en un proceso	58
3.4.4	Factor de calor sensible.....	60
3.4.5	Representación de la recta de maniobra y del factor de calor sensible en el diagrama psicrométrico.	61
3.5	Tipos de procesos elementales y equipos básicos	62
3.6	Procesos elementales con baterías	64
3.6.1	Modelo simplificado de baterías. Temperatura superficial y factor de by-pass.....	64
3.6.2	Batería con temperatura superficial mayor que la temperatura seca del aire. Proceso de calentamiento sensible	67
3.6.3	Batería con temperatura superficial menor que la temperatura seca y mayor que la temperatura de rocío del aire. Proceso de enfriamiento sensible	69
3.6.4	Batería con temperatura superficial menor que la temperatura de rocío del aire. Proceso de enfriamiento con deshumidificación	71
3.7	Proceso de calentamiento sensible con resistencias	74
3.8	Procesos de humidificación con agua líquida	76
3.9	Procesos de humidificación con vapor	82
3.10	Procesos de deshumidificación con desecantes	8
3.11	Recuperación de energía	87
Problemas		92
Referencias		93

CAPÍTULO 4 TRANSFERENCIA DE CALOR EN CLIMATIZACIÓN

4.1	Introducción a la transferencia de calor	97
4.1.1	Mecanismos básicos de transferencia de calor.....	97
4.1.2	Justificación del estudio de la transferencia de calor en climatización	98
4.2	Conducción	98
4.2.1	Descripción del fenómeno. Ley de Fourier. Conductividad térmica.....	98
4.2.2	Conducción estacionaria en sistemas simples: placa, cilindro, esfera	99
4.2.3	Concepto de resistencia térmica. Aplicación a sistemas simples	101
4.2.4	Conducción estacionaria en sistemas compuestos. Coeficiente global de transferencia U ..	104
4.2.5	Conducción transitoria. Sistemas de capacidad.	106
4.3	Convección	108
4.3.1	Descripción del fenómeno. Ley de enfriamiento de Newton. Coeficiente de película	108
4.3.2	Tipos de convección	110
4.3.3	Expresiones para el cálculo del coeficiente de película	113
4.3.4	Transferencia convectiva de masa	129

4.4	Radiación	132
4.4.1	Descripción del fenómeno. Magnitudes radiantes.....	132
4.4.2	Cuerpo negro. Leyes de la Radiación Térmica	134
4.4.3	Radiación en cuerpos reales: propiedades radiantes	136
4.4.4	Intercambio radiante entre superficies difusas en un medio transparente	137
4.4.5	Casos particulares de formulaciones radiantes.....	142
4.5	Aplicaciones de la transferencia de calor en climatización	146
4.5.1	Superficies extendidas (Aletas)	146
4.5.2.	Intercambiadores de calor	150
Problemas	.....	160
Referencias	.....	163

CAPITULO 5 BIENESTAR TÉRMICO EN EL CUERPO HUMANO

5.1	Introducción	167
5.2	Intercambio de calor entre las personas y su entorno	167
5.2.1	Reacciones del cuerpo humano ante desequilibrios energéticos	169
5.3	Expresiones utilizadas en el balance de energía	170
5.3.1	Metabolismo	171
5.3.2	Potencia mecánica	172
5.3.3	Potencia calorífica por radiación a onda larga.....	172
5.3.4	Potencia calorífica por conducción	176
5.3.5	Potencia calorífica por convección	176
5.3.6	Potencia calorífica sensible en la respiración	177
5.3.7	Potencia calorífica latente en la respiración	178
5.3.8	Potencia calorífica latente en la evaporación de la piel.....	179
5.4	Balance de energía en las personas	181
5.4.1	Influencia de la existencia de ropa en el intercambio de calor del cuerpo humano	181
5.4.2	Temperatura de la piel	184
5.4.3	Temperatura operativa.....	185
5.4.4	Balance de energía para un hombre estándar en un recinto cerrado	191
5.4.5	Conclusiones del intercambio térmico entre el cuerpo humano y el ambiente	195
5.5	Índices térmicos del ambiente	195
5.5.1	Temperatura de la piel agradable	196
5.5.2	Permeabilidad de la piel	196
5.6	Condiciones de bienestar en base a la temperatura y la permeabilidad de la piel	196
5.6.1	Variación de las condiciones de bienestar variando las condiciones asumidas como estándar.....	199
5.6.2	Temperatura efectiva y humedad relativa	201
5.7	Bienestar de un grupo de personas en la zona ocupada	204
5.7.1	Zona ocupada	204
5.7.2	Escala de sensaciones térmicas	205
5.7.3	Incomodidad local (Malestar térmico local)	210
5.8	Otros condicionantes del ambiente interior	217
5.8.1	La ventilación.....	218
5.8.2	El nivel de ruido	218
5.9	Criterios de diseño térmico	218
Problemas	.....	221
Referencias	.....	221

CAPÍTULO 6 CARGAS TÉRMICAS

6.1.	Introducción	225
6.2.	Condiciones Exteriores	234
6.2.1.	Temperatura seca	234
6.2.2.	Temperatura húmeda.....	242
6.2.3.	Velocidad y dirección de viento	245
6.2.4.	Radiación solar global sobre superficie	245
6.2.5.	Posición del sol	246

6.3.	Transmisión de calor a través de un cerramiento opaco.....	248
6.3.1.	Factores de respuesta	248
6.3.2.	Propiedades de materiales	249
6.3.3.	Coeficiente global de convección-radiación en el interior de recintos y temperatura equivalente interior a considerar	249
6.3.4.	Coeficiente global de convección-radiación en el exterior de recintos y temperatura sol-aire (equivalente)	251
6.3.5.	Determinación de la cantidad de calor que se transfiere al recinto a través de un cerramiento exterior	252
6.3.6.	Determinación práctica de la carga (cantidad de calor que se transfiere al aire) a través de un cerramiento exterior	253
6.3.7.	Muros y suelos enterrados o a vacíos sanitarios.....	258
6.3.8.	Muros y suelos a otros locales no calefactados	260
6.4.	Transmisión de calor a través de un cerramiento semitransparente	262
6.4.1.	Intercambio de calor por conducción-convección (debida a $T_{s, ext}$).....	262
6.4.2.	Intercambio de calor por radiación solar	264
6.5.	Transmisión de calor a través de puentes térmicos	274
6.6.	Carga por Ventilación	275
6.7.	Carga por Infiltración	278
6.8.	Carga por Ocupantes.....	280
6.9.	Carga por Iluminación.....	282
6.10.	Carga por Equipamiento	283
6.11.	Carga por propia instalación	284
6.12.	Carga de mayoración	285
6.13.	Planteamiento de una hoja de cargas en refrigeración	285
6.14.	Caso de calefacción	287
6.15.	Consideraciones para funcionamiento diferente a 24 horas.....	294
6.16.	Orden de magnitud	295
	Referencias.....	296

CAPÍTULO 7 CICLOS DE CLIMATIZACIÓN

7.1	Introducción	299
7.2	Contenidos y metodología	302
7.3	Recta de operación del local	303
7.3.1	Condiciones de impulsión	303
7.3.2	Factores de calor sensible y latente	307
7.3.3	Ejemplo	309
7.4	Ganancias y pérdidas de calor parásitas	312
7.4.1	Incremento de temperatura en un ventilador.....	312
7.4.2	Plenum.....	313
7.4.3	Ganancias o pérdidas de calor en conductos	314
7.5	Ciclos de calefacción	315
7.5.1	Ciclo de calefacción sin control de humedad	315
7.5.2	Ciclo de calefacción con control de humedad	320
7.6	Ciclos de refrigeración	325
7.6.1	Ciclo de refrigeración sin control de humedad	326
7.6.2	Ciclo de refrigeración con control de humedad	330
7.6.3	Enfriamiento gratuito (<i>free-cooling</i>)	335
7.7	Comentario final sobre las condiciones exteriores.....	338
	Ejercicios propuestos	340
	Anexo	342
	Referencias.....	350

CAPÍTULO 8 SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN

8.1	Introducción	353
8.2	Criterios de elección de sistemas	353
8.2.1	Coste de un sistema de climatización	353
8.2.2	Confort alcanzado por el sistema de climatización	354
8.2.3	Flexibilidad del sistema de climatización	355
8.2.4	Espacio ocupado por el sistema de climatización	355
8.3	Clasificación de los sistemas de climatización	356
8.4	Sistemas compactos de pequeña potencia	357
8.5	Sistemas partidos	358
8.6	Unidades compactas de cubierta (Roof-top)	358
8.7	Caudal de refrigerante variable	360
8.8	Sistema de aire de caudal constante	362
8.9	Sistema de aire de caudal constante con bypass	364
8.10	Sistema de aire de caudal variable	366
8.11	Otros sistemas de aire	369
8.12	Sistema de agua con ventiloconvectores (fancoils)	371
8.13	Sistema de agua con inductores	376
8.14	Sistema de bomba de calor agua-aire en anillo	378
8.15	Sistemas radiantes. Suelos radiantes	380
8.16	Techos fríos	384
Problemas	.....	386
Referencias	.....	386

CAPÍTULO 9 DISTRIBUCIÓN DE FLUIDOS

9.1	Equipos de transporte de fluidos	389
9.1.1	Bombas	390
9.1.2	Ventiladores	391
9.2	Redes de tuberías	392
9.2.1	Pérdida de presión en tuberías	392
9.2.2	Cálculo práctico de las redes de tuberías	394
9.3	Curvas características de las bombas. Punto de funcionamiento	396
9.3.1	Curvas características de las bombas	396
9.3.2	Curva resistente de la instalación	397
9.3.3	Punto de funcionamiento de la instalación	398
9.3.4	Regulación del punto de funcionamiento.....	399
9.3.5	Equilibrado hidráulico	402
9.4	Redes de conductos	405
9.4.1	Presión estática y dinámica del aire	405
9.4.2	Recuperación estática	407
9.4.3	Flujo real en la red de conductos. Pérdidas de presión.....	407
9.4.4	Cálculo práctico de la red de conductos	410
9.5	Curvas características de los ventiladores. Punto de funcionamiento	411
9.5.1	Curvas características de los ventiladores	411
9.5.2	Presiones estática, dinámica y total en la conexión del ventilador	413
9.5.3	Recuperación estática de la energía del ventilador.....	415
9.5.4	Curva resistente de la instalación. Punto de funcionamiento	415
9.5.5	Regulación del punto de funcionamiento.....	418
9.6	Distribución del aire	420
9.6.1	Principios de la distribución del aire, definiciones.....	420
9.6.2	Tipos de Difusión.....	424
9.6.3	Bocas de salida.....	430
9.6.4	Ruido.....	432
9.6.5	Ejemplo de selección de boas de impulsión.....	433
Problemas	.....	439
APÉNDICE A: SELECCIÓN DEL DIÁMETRO DE LAS TUBERÍAS	.....	441
APÉNDICE B: SELECCIÓN DEL DIÁMETRO DE LOS CONDUCTOS	.....	448
Referencia	.....	455

CAPÍTULO 10 AHORRO DE ENERGÍA EN CLIMATIZACIÓN

10.1	Sostenibilidad energética de los sistemas de climatización en edificios.....	459
10.2	Ahorro de energía de la demanda	461
10.3	Ahorro de energía en sistemas de climatización.	469
10.3.1	Ahorro en generación de calor y frío.	469
10.3.2	Ahorro en distribución.	481
10.3.3	Ahorro en sistemas de climatización.	485
10.3.4	Recuperación de energía: Ejemplo.	510
10.4	Ejercicios de aplicación	513
Referencias.....		515

CAPÍTULO 11 REGLAMENTACIÓN

11.1	Entorno Reglamentario	519
11.1.1	Jerarquía de la reglamentación.	519
11.1.2	Tipos de documentos reglamentarios.....	519
11.1.3	Campos reglamentarios.	520
11.1.4	Justificación del cumplimiento reglamentario.	520
11.2	La Certificación Energética de los Edificios.	521
11.2.1	Factores del consumo.	523
11.2.2	Documento HE del CTE.	523
11.2.3	Documento HE2 del CTE.	525
11.3	Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios	525
11.3.1	Estructura del RITE.	526
11.3.2	IT 01: Diseño y dimensionado.	528
11.3.3	IT 02: Montaje.....	540
11.3.4	IT 03: Mantenimiento.	541
11.3.5	IT 04: Inspección.....	546
11.4	Relación de normativas que afectan a las instalaciones de climatización	547
11.4.1	Instalaciones térmicas.	547
11.4.2	Normativa de edificación.	549
11.4.3	Certificación y etiquetado energético.	549
11.4.4	Normas UNE EN ISO.....	550

Variables utilizadas	551
-----------------------------------	------------

Capítulo 1

Introducción a la climatización

José Manuel Cejudo López

1.1 Introducción

Por climatización se entiende el control mecánico de las condiciones de un espacio para mantener específicamente su temperatura, humedad, calidad de aire, etc. En sentido estricto se excluyen los sistemas pasivos de climatización, en los que no hay consumo de energía asociado porque los propios elementos de la envolvente contribuyen a conseguir las condiciones adecuadas de confort.

En definitiva, la climatización de un espacio persigue la consecución de las condiciones de confort de los ocupantes de un espacio, o proporcionar los requerimientos termohigrométricos y de calidad de aire para procesos productivos. En muchos casos el confort es una cuestión imprescindible sin traducción económica, mientras que en otros muchos casos existe una relación directa entre la mejora de las condiciones del espacio y la productividad.

El sector de la climatización es de enorme importancia en España por los volúmenes económicos que genera, el empleo que proporciona y las implicaciones sociales y medioambientales que conlleva. En 2008, en una situación económica desfavorable, el mercado de máquinas, sistemas de tratamiento y distribución de aire, regulación, control y ventiladores, representó casi 1.500 millones de euros (ver la referencia [1.1]).

Respecto al consumo de energía que se produce en los sistemas de climatización de edificios, la cuestión no es evidente. Es un lugar común utilizar el dato de la Directiva europea sobre eficiencia energética de los edificios [1.2] que afirma que “el sector de la vivienda y servicios, compuesto en su mayoría por edificios, absorbe más del 40% del consumo final de energía en la Comunidad”. Se trata por tanto de un dato con cierta antigüedad que engloba otros usos aparte de la climatización, además de referirse a toda la Unión Europea, donde el peso de la calefacción es mayoritario y casi minoritario el consumo en refrigeración. Determinar el peso en España de la climatización en el consumo de energía es tarea difícil por la variedad de estadísticas, como puede apreciarse por ejemplo en la referencia [1.3]. Por sectores, usos, países, aparecen valoraciones de los consumos de energía final, muchas veces incoherentes o incompletos. Tras el análisis de los datos, puede concluirse que en España en climatización se consume entre el 10% y el 20% de la energía final dependiendo de la zona climática. Es innecesario señalar las implicaciones que la generalización de buenas prácticas de diseño podrían tener en la reducción de emisiones de CO₂, el agotamiento de los recursos, etc.

En todo caso no cabe duda de:

- 1.-El constante aumento de las puntas de consumo de electricidad en las épocas extremas del año, debido a la instalación cada vez más habitual de sistemas de climatización en viviendas y otros edificios.
- 2.-El coste que representa la climatización en relación al resto de costes. Por ejemplo, en viviendas climatizadas representa el mayor coste energético, y en hoteles es el segundo concepto de gasto tras el de personal.

Es necesario hacer algunas precisiones respecto a las denominaciones comúnmente utilizadas: calefacción, refrigeración, climatización, aire acondicionado y ventilación.

- Calefacción: se aplica a situaciones donde los locales tienen pérdidas netas de energía y es necesario introducir aire caliente u otro fluido caloportador a la unidad terminal o al local. Es un término que no ofrece duda.
- Refrigeración: es la situación contraria a la calefacción. La zona tiene ganancias netas y es necesario extraer energía para mantener las condiciones deseadas en el espacio
- Climatización: como ha sido definido inicialmente, puede incluir procesos de calentamiento, enfriamiento, filtrado, humectación o deshumectación.
- Aire acondicionado: comúnmente se utiliza este término como sinónimo de refrigeración. En sentido amplio, acondicionar un espacio es tratarlo para conseguir las condiciones requeridas. En su interpretación correcta debe ser sinónimo de climatización y no de refrigeración.
- Ventilación: sólo incluye la renovación y en su caso la filtración de este aire de renovación. El sistema no incluye ningún proceso de enfriamiento, calentamiento o modificación del contenido de humedad del aire tratado.

1.2 El diseño de un sistema de climatización

El diseño óptimo de un sistema de climatización es el que hace mínimo el coste a lo largo de su ciclo de vida. Debe incluirse en este cálculo la inversión inicial, el coste de operación (de la energía consumida) y el de mantenimiento.

En el futuro, la evaluación de costes de un sistema de climatización deberá incluir los costes ambientales. En esa evaluación se incluye el impacto que tiene todo el proceso desde que los materiales se encuentran en su estado natural, son procesados, transformados en equipos, tuberías, conductos, etc, y son transportados al edificio. Posteriormente deben evaluarse los costes de desmontaje y reciclado si es el caso. Desde este punto de vista se requiere no utilizar equipos innecesarios, utilizar fuentes de energía renovables o residuales, favorecer los equipos fácilmente reutilizables o reciclables, utilizar materiales que requieran poco procesamiento previo, etc.

Aunque parezca una evaluación futurista y carente de sentido, es conveniente saber que existen sistemas de climatización en los que el consumo de energía a lo largo de toda su vida útil es comparable al coste energético que supone su fabricación, instalación y reciclaje. En el capítulo 2 del DTIE de Sistemas de Climatización [1.4] puede encontrarse más información de este aspecto.

Como todo diseño, el de un sistema de climatización requiere conocimientos y experiencia. Concretando, cuando se elige el sistema de climatización deben considerarse los requerimientos del clima donde esté situado el edificio y los propios del edificio. En resumen:

Sistema de climatización = f (Cond. Exteriores, Cond. Interiores, Arquitectura)

A continuación se analizan con más detalle cada uno de estos factores.

1.2.1 Condiciones exteriores

Es evidente que las condiciones climáticas determinan los requerimientos de los sistemas de climatización. Los consumos en refrigeración y calefacción son muy variables en función de la zona climática. Los sistemas de calefacción en climas fríos resultan imprescindibles, y por eso han recibido una mayor atención en cuanto a métodos de cálculo y equipos disponibles. Sin embargo, aún siendo en muchos casos prescindibles en sentido estricto, los sistemas de refrigeración están extendiéndose

aceleradamente. Prueba de ello es que en España se tienen puntas de consumo eléctrico en verano equivalentes a las que se alcanzan en invierno. Por otra parte, para el diseño de refrigeración, los métodos de dimensionado deben ser más precisos en la consideración de los efectos de retraso y amortiguamiento de las condiciones exteriores, como se analiza en el capítulo 6 de este libro.

Las variables exteriores que se consideran en el diseño son:

- Temperatura y humedad exterior: determina los flujos de calor por conducción y la energía necesaria para acondicionar el aire de ventilación o infiltrado a la zona
- Radiación solar incidente: para el cálculo de refrigeración. Este aporte supone el mayor flujo de calor de zonas perimetrales o últimas plantas de edificios
- Velocidad y dirección de viento: determina las infiltraciones
- Pureza del aire: condiciona el grado de filtración requerido para el aire de ventilación

1.2.2 Arquitectura

El consumo de energía de un edificio depende de la demanda y del rendimiento del sistema de climatización. La demanda en general es independiente del sistema, (pueden existir sistemas como el de suelo radiante que modifiquen en parte dicha demanda). Está condicionada por la envolvente y el uso que va a darse al edificio. Concebir el edificio para minimizar la demanda es tarea que recae en el arquitecto, aunque debería contar con la ayuda de otros técnicos para cuantificar el efecto que las decisiones de diseño tienen en la demanda.

En particular, los aspectos de la arquitectura que influyen en el diseño son:

- Forma, tamaño, compacidad, orientación, particiones interiores. Condicionan las ganancias y la distribución de éstas dentro del edificio.
- Composición de cerramientos: grado de aislamiento e inercia filtran las excitaciones exteriores (temperatura y radiación solar).
- Color: es importante porque modifica las ganancias solares a través de superficies opacas. En edificios vidriados de color oscuro, la temperatura superficial de vidrios condiciona de manera muy importante el confort en verano.
- Huecos: ventanas, puertas, escaleras. Las ventanas, necesarias para la comunicación visual con el exterior y la aportación de luz natural, incrementan la ganancia solar y la transmisión. Evaluar de manera precisa la aportación solar es primordial, incluyendo el efecto de sombras arrojadas por el entorno y las protecciones solares del edificio. Los huecos interiores influyen en el movimiento del aire dentro del edificio.
- Espacios disponibles para instalaciones: la existencia de espacio para sala de máquinas, montantes verticales, falsos techos, etc guiará la elección de un sistema u otro.
- Estética: no son despreciables los casos en los que los requerimientos estéticos determinan el proyecto.