

# Índice general

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| Prólogo .....                      | xii |
| Prólogo a la tercera edición ..... | xiv |
| Prólogo a la cuarta edición .....  | xv  |

## Capítulo 1

### Psicrometría

|   |    |
|---|----|
| 1.1 Composición del aire .....                            | 1  |
| 1.2 Radiación solar .....                                 | 2  |
| 1.3 La capa de ozono .....                                | 3  |
| 1.4 El efecto invernadero .....                           | 3  |
| 1.5 El aire técnico .....                                 | 3  |
| 1.6 Ecuación de estado de un gas ideal .....              | 4  |
| Ejemplo 1.1 .....   | 4  |
| Ejemplo 1.2 .....   | 5  |
| 1.7 Ecuaciones de estado del aire húmedo .....            | 5  |
| 1.8 Parámetros característicos del aire atmosférico ..... | 6  |
| 1.8.1 Humedad absoluta .....                              | 6  |
| 1.8.2 Humedad relativa .....                              | 6  |
| 1.8.3 Punto de rocío .....                                | 8  |
| 1.9 Medidores de humedad relativa .....                   | 8  |
| 1.9.1 Introducción .....                                  | 8  |
| 1.9.2 Medidor de fibra .....                              | 9  |
| 1.9.3 Psicrómetro .....                                   | 9  |
| 1.10 Ecuación fundamental de la psicrometría .....        | 10 |
| Ejemplo 1.3 .....   | 10 |
| 1.11 Densidad y volumen específico .....                  | 11 |
| Ejemplo 1.4 .....   | 11 |
| 1.12 Entalpía del aire húmedo .....                       | 12 |
| Ejemplo 1.5 .....   | 12 |
| Ejemplo 1.6 .....   | 13 |
| Ejemplo 1.7 .....   | 13 |
| 1.13 El diagrama psicrométrico .....                      | 14 |
| 13.1 Descripción del diagrama psicrométrico .....         | 14 |
| Ejemplo 1.8 .....   | 16 |
| Ejemplo 1.9 .....   | 17 |
| Ejemplo 1.10 .....  | 18 |
| Ejemplo 1.11 .....  | 19 |

|  |           |
|--|-----------|
| Ejemplo 1.12 .....   | 20        |
| <b>1.14 Operaciones básicas .....</b>                          | <b>20</b> |
| 1.14.1 Mezcla de dos caudales de aire húmedo .....             | 20        |
| Ejemplo 1.13 .....   | 22        |
| 1.14.2 Calentamiento sensible .....                            | 22        |
| Ejemplo 1.14 .....   | 23        |
| 1.14.3 Enfriamiento sensible .....                             | 23        |
| 1.14.4 Procesos de humidificación .....                        | 24        |
| 1.14.4.1 Introducción .....                                    | 24        |
| 1.14.4.2 Proceso de saturación adiabática .....                | 24        |
| 1.14.4.3 Humidificación con aporte o extracción de calor ..... | 26        |
| Ejemplo 1.15 .....   | 27        |
| 1.14.5 Procesos de deshumidificación .....                     | 28        |
| 1.14.5.1 Introducción .....                                    | 28        |
| 1.14.5.2 Deshumidificación por enfriamiento .....              | 28        |
| Ejemplo 1.16 .....   | 29        |
| Ejemplo 1.17 .....   | 29        |
| 1.14.5.3 Deshumidificación química .....                       | 30        |

## Capítulo 2

### Condiciones de bienestar

|   |           |
|---|-----------|
| <b>2.1 Introducción .....</b>                                   | <b>31</b> |
| <b>2.2 Calor generado por el cuerpo humano .....</b>            | <b>32</b> |
| <b>2.3 Balance energético alrededor del cuerpo humano .....</b> | <b>33</b> |
| <b>2.4 Temperatura efectiva .....</b>                           | <b>34</b> |
| <b>2.5 Condiciones de bienestar .....</b>                       | <b>35</b> |
| 2.5.1 Introducción .....  | 35        |
| 2.5.2 Efecto de la distribución de temperaturas .....           | 37        |
| 2.5.3 Efecto de la velocidad del aire .....                     | 38        |
| 2.5.4 Necesidad de ventilar un local .....                      | 39        |
| 2.5.5 Ruidos y vibraciones .....                                | 41        |
| <b>2.6 Temperatura de bochorno .....</b>                        | <b>42</b> |
| Ejemplo 2.1 .....   | 43        |

## Capítulo 3

### Cálculo de la carga de refrigeración

|  |           |
|--|-----------|
| <b>3.1 Introducción .....</b>  | <b>45</b> |
| <b>3.2 Condiciones de proyecto .....</b>   | <b>45</b> |
| <b>3.3 Definición y clasificación de los distintos conceptos que componen la carga térmica .....</b> | <b>47</b> |
| 3.3.1 Introducción .....   | 47        |

|  |    |
|--|----|
| 3.3.2 Aire de ventilación .....  | 48 |
| <b>3.4 Cálculo de la carga térmica</b> .....                                 | 49 |
| 3.4.1 Cálculo de la carga sensible .....                                     | 49 |
| Ejemplo 3.1 .....  | 50 |
| 3.4.2 Cálculo de las partidas latentes .....                                 | 53 |
| 3.4.3 Cálculo de las partidas del aire de ventilación .....                  | 54 |
| <b>3.5 Cálculo de las cargas totales</b> .....                               | 55 |
| 3.5.1 Carga sensible efectiva parcial y carga latente efectiva parcial ..... | 55 |
| 3.5.2 Carga sensible efectiva total y latente efectiva total .....           | 55 |
| <b>3.6 Hoja de carga</b> .....   | 55 |
| Ejemplo 3.2 .....  | 55 |

## **Capítulo 4**

### **El acondicionamiento de verano**

|  |    |
|--|----|
| <b>4.1 Introducción</b> .....  | 63 |
| <b>4.2 Descripción del proceso</b> .....   | 63 |
| <b>4.3 Cálculo de los parámetros fundamentales. Procedimiento indirecto</b> ...          | 65 |
| 4.3.1 Introducción .....   | 65 |
| 4.3.2 Obtención de la temperatura de rocío de la batería.....                            | 66 |
| 4.3.3 Obtención del caudal de aire .....   | 66 |
| 4.3.4 Obtención de la temperatura del aire a la entrada de la UTA .....                  | 67 |
| 4.3.5 Obtención de la temperatura del aire a la salida de la UTA .....                   | 67 |
| 4.3.6 Obtención de la potencia frigorífica de la UTA .....                               | 68 |
| Ejemplo 4.1 .....  | 68 |
| Ejemplo 4.2 .....  | 70 |
| <b>4.4 Proceso de acondicionamiento con recalentamiento del aire de suministro</b> ..... | 70 |
| Ejemplo 4.3 .....  | 72 |
| <b>4.5 Cálculo de los parámetros fundamentales. Procedimiento directo</b> .....          | 73 |

## **Capítulo 5**

### **Distribución del aire**

|   |    |
|---|----|
| <b>5.1 Introducción</b> .....                                 | 75 |
| <b>5.2 Definición y clasificación de los impulsores</b> ..... | 75 |
| 5.2.1 Introducción .....                                      | 75 |
| 5.2.2 Difusores de techo .....                                | 77 |
| 5.2.3 Difusores lineales .....                                | 78 |
| 5.2.4 Paneles perforados .....                                | 78 |
| 5.2.5 Rejillas .....  | 78 |
| 5.2.6 Características .....                                   | 78 |
| 5.2.7 Criterios de elección .....                             | 80 |

|  |     |
|--|-----|
| Ejemplo 5.1 .....  | 80  |
| <b>5.3 Clasificación y diferenciación de los tipos de aire en la distribución ....</b> | 81  |
| <b>5.4 Clasificación técnica en función de las prestaciones .....</b>                  | 81  |
| <b>5.5 Rejillas para el aire de recirculación .....</b>                                | 82  |
| <b>5.6 Techos perforados .....</b>   | 82  |
| <b>5.7 Criterio muy general de selección .....</b>                                     | 83  |
| <b>5.8 Diseño de conductos .....</b>   | 83  |
| <b>5.9 Clasificación de la red de conductos .....</b>                                  | 84  |
| <b>5.10 Diámetro equivalente .....</b>   | 84  |
| Ejemplo 5.2 .....  | 86  |
| <b>5.11 Caudal y velocidad .....</b>   | 87  |
| Ejemplo 5.3 .....  | 87  |
| <b>5.12 Cálculo de la pérdida de carga por rozamiento .....</b>                        | 88  |
| <b>5.13 Caída de presión debida a los accidentes .....</b>                             | 88  |
| 5.13.1 Introducción .....  | 88  |
| 5.13.2 Pérdidas por curvas .....   | 90  |
| Ejemplo 5.4 .....  | 90  |
| 5.13.3 Pérdidas en derivaciones .....  | 92  |
| Ejemplo 5.5 .....  | 92  |
| <b>5.14 Recuperación estática .....</b>  | 93  |
| Ejemplo 5.6 .....  | 94  |
| <b>5.15 Cálculo de la red de conductos .....</b>                                       | 94  |
| 5.15.1 Introducción .....  | 94  |
| 5.15.2 Cálculo de las derivaciones .....   | 96  |
| Ejemplo 5.7 .....  | 97  |
| Ejemplo 5.8 .....  | 98  |
| Ejemplo 5.9 .....  | 103 |

## Capítulo 6

### Sistemas de aire acondicionado

|   |     |
|---|-----|
| <b>6.1 Introducción .....</b>   | 107 |
| <b>6.2 Clasificación de los sistemas de aire acondicionado .....</b>  | 107 |
| <b>6.3 Concepto de carga parcial .....</b>                            | 109 |
| Ejemplo 6.1 .....   | 111 |
| <b>6.4 Criterios generales de elección del sistema .....</b>          | 112 |
| <b>6.5 Sistemas todo aire, conducto único, caudal constante .....</b> | 114 |
| <b>6.6 Sistema VAV (volumen variable de aire) .....</b>               | 116 |
| 6.6.1 Introducción .....  | 116 |
| 6.6.2 Descripción del sistema VAV .....                               | 116 |
| 6.6.3 Dimensionado .....  | 117 |
| Ejemplo 6.2 .....   | 117 |
| Ejemplo 6.3 .....   | 118 |

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| 6.6.4       | Desventajas del sistema VAV .....                                | 119 |
| 6.6.5       | Unidades terminales .....  | 120 |
| <b>6.7</b>  | <b>Acondicionamiento con <i>fan-coils</i></b> .....              | 120 |
| 6.7.1       | Introducción .....   | 120 |
| 6.7.2       | Clasificación .....  | 121 |
| 6.7.3       | Descripción del <i>fan-coil</i> .....                            | 121 |
| 6.7.4       | Fundamento de la clasificación en dos tubos y cuatro tubos ..... | 122 |
| 6.7.4.1     | <i>Fan-coil</i> de dos tubos .....                               | 122 |
| 6.7.4.2     | <i>Fan-coil</i> de cuatro tubos .....                            | 122 |
| 6.7.5       | Sistema de dos tubos .....                                       | 123 |
| 6.7.6       | Sistema de cuatro tubos .....                                    | 124 |
| 6.7.7       | Dimensionado de las instalaciones de <i>fan-coils</i> .....      | 124 |
|             | Ejemplo 6.4 .....  | 125 |
| 6.7.8       | Aplicaciones del sistema de <i>fan-coils</i> .....               | 127 |
| 6.7.9       | Sistema con inductores .....                                     | 128 |
| <b>6.8</b>  | <b>Sistemas VRV</b> .....  | 128 |
| 6.8.1       | Introducción .....   | 128 |
| 6.8.2       | Descripción del sistema .....                                    | 128 |
| 6.8.3       | Ventajas .....   | 130 |
| 6.8.4       | Limitaciones .....   | 130 |
| 6.8.5       | Unidades interiores .....  | 131 |
| 6.8.6       | Conductos .....  | 131 |
| <b>6.9</b>  | <b>Elección del sistema más idóneo</b> .....                     | 131 |
| 6.9.1       | Introducción .....   | 131 |
| 6.9.2       | Elección del sistema .....                                       | 132 |
| 6.9.2.1     | Criterios .....  | 132 |
| 6.9.2.2     | Calidad de los sistemas .....                                    | 133 |
| 6.9.2.3     | Criterios de elección en base a la naturaleza del local .....    | 134 |
| 6.9.2.4     | Factores que deben tenerse en cuenta .....                       | 134 |
| <b>6.10</b> | <b>Elementos de la instalación</b> .....                         | 135 |
| 6.10.1      | Introducción .....   | 135 |
| 6.10.2      | Sistemas de producción de frío .....                             | 135 |
| 6.10.3      | Elementos básicos de una instalación de aire acondicionado ..... | 136 |
| 6.10.4      | Elementos de regulación .....                                    | 136 |
| 6.10.4.1    | Introducción .....   | 136 |
| 6.10.4.2    | Termostatos .....  | 137 |
| 6.10.4.3    | Humidostatos .....   | 137 |
| 6.10.4.4    | Presostatos .....  | 137 |
| 6.10.4.5    | Órganos finales de regulación .....                              | 138 |

## Capítulo 7

### Equipos

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 7.1  | Introducción .....  | 141 |
| 7.2  | Unidades autónomas .....                                    | 142 |
| 7.3  | El acondicionador de ventana .....                          | 144 |
| 7.4  | Consola condensada por aire .....                           | 144 |
| 7.5  | Consola condensada por agua .....                           | 145 |
| 7.6  | Equipo partido .....  | 145 |
| 7.7  | Funcionamiento en régimen de invierno .....                 | 145 |
| 7.8  | Producción de calor mediante equipos de bomba de calor..... | 146 |
| 7.9  | Equipo vertical de gran potencia .....                      | 147 |
| 7.10 | Equipo horizontal de gran potencia.....                     | 147 |
| 7.11 | Equipo de techo ( <i>ROOF-TOP</i> ) de gran potencia .....  | 148 |
| 7.12 | Unidades terminales .....                                   | 148 |
| 7.13 | Centrales enfriadoras de agua .....                         | 151 |
| 7.14 | Torres de refrigeración .....                               | 152 |

## Capítulo 8

### El filtrado de aire

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 8.1   | Introducción .....   | 153 |
| 8.2   | Teoría básica del filtrado .....                                       | 153 |
| 8.3   | Ensayos de normalización .....   | 156 |
| 8.3.1 | Método numérico .....  | 156 |
| 8.3.2 | Método ponderal .....  | 156 |
| 8.3.3 | Método colorimétrico .....   | 156 |
| 8.4   | Curvas características .....   | 156 |
| 8.5   | Clasificación de los filtros .....                                     | 158 |
| 8.6   | Esterilización del aire. Utilización de filtros de carbón activo ..... | 158 |
| 8.7   | Filtros de tipo seco .....   | 159 |
| 8.8   | Filtros electrostáticos .....  | 159 |
| 8.9   | Filtros viscosos .....   | 160 |
| 8.10  | Elección del tipo de filtro adecuado .....                             | 160 |

## Capítulo 9

### Mantenimiento de las instalaciones

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 9.1   | Introducción .....                          | 163 |
| 9.2   | Conceptos básicos sobre mantenimiento ..... | 163 |
| 9.2.1 | Introducción .....                          | 163 |
| 9.2.2 | Tipos de mantenimiento .....                | 164 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>9.3 Operaciones de mantenimiento</b> .....  | 166 |
| 9.3.1 Introducción .....   | 166 |
| 9.3.2 Generalidades .....  | 166 |
| 9.3.3 Obligatoriedad del mantenimiento .....   | 166 |
| 9.3.4 Operaciones de mantenimiento .....   | 166 |
| 9.3.5 Registro de las operaciones de mantenimiento .....   | 166 |
| <b>Capítulo 10</b>   |     |
| <b>Normativa</b>   |     |
| <b>10.1 Introducción</b> .....   | 169 |
| <b>10.2 EI RITE</b> .....  | 169 |
| 10.2.1 Introducción .....  | 169 |
| 10.2.2 Proyecto de las instalaciones .....   | 172 |
| 10.2.3 Mantenimiento de las instalaciones .....  | 172 |
| 10.2.4 Programa de gestión energética .....  | 175 |
| 10.2.5 Terminología .....  | 176 |
| <b>10.3 EI CTE</b> .....   | 182 |
| 10.3.1 Introducción .....  | 182 |
| 10.3.2 Referencias al ahorro energético .....  | 183 |
| 10.3.2.1 Introducción .....  | 183 |
| 10.3.2.2 Limitación del consumo energético .....   | 184 |
| 10.3.2.3 Limitación de demanda energética .....  | 185 |
| 10.3.2.4 Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria .....  | 187 |
| 10.3.2.5 Contribución fotovoltaica mínima de corriente eléctrica .....   | 188 |
| 10.3.3 Conclusiones .....  | 189 |
| <b>Nomenclatura básica</b> .....   | 190 |
| Lecturas griegas .....   | 191 |
| Subíndices .....   | 191 |
| Superíndices.....  | 192 |
| <b>Relaciones de unidades y datos característicos</b> .....  | 192 |
| <b>Anexos</b>  |     |
| <b>Anexo 1 Modelo de hoja para calcular las cargas térmicas</b> .....  | 195 |
| <b>Anexo 2 a) Propiedades del aire húmedo a la presión de 101,325 kPa.....</b>                                 | 197 |
| <b>b) Diagrama psicrométrico</b> .....   | 200 |
| <b>Anexo 3 Tablas que se utilizan en el cálculo de la carga térmica de refrigeración</b> .....                 | 201 |
| <b>Anexo 4 Estudio de la recuperación entálpica y la refrigeración evaporativa impuestas por el RITE</b> ..... | 209 |
| <b>Bibliografía</b> .....  | 215 |