



Manual de refrigeración y acondicionamiento de aire

Autor: Ernesto Sanguinetti Remusgo

© **Derechos de autor registrados:**

Empresa Editora Macro EIRL

© **Derechos de edición, arte gráfico y diagramación reservados:**

Empresa Editora Macro EIRL

Coordinación de edición:

Magaly Ramon Quiroz

Diseño de portada:

Fernando Cavassa Repetto

Diagramación:

Fernando Cavassa Repetto

Edición a cargo de:

© Empresa Editora Macro EIRL

Av. Paseo de la República N.º 5613, Miraflores, Lima, Perú

☎ Teléfono: (511) 748 0560

✉ E-mail: proyectoeditorial@editorialmacro.com

🌐 Página web: www.editorialmacro.com

Primera edición: Diciembre 2017

Tiraje: 2000 ejemplares

Impresión

Talleres gráficos de la Empresa Editora Macro EIRL

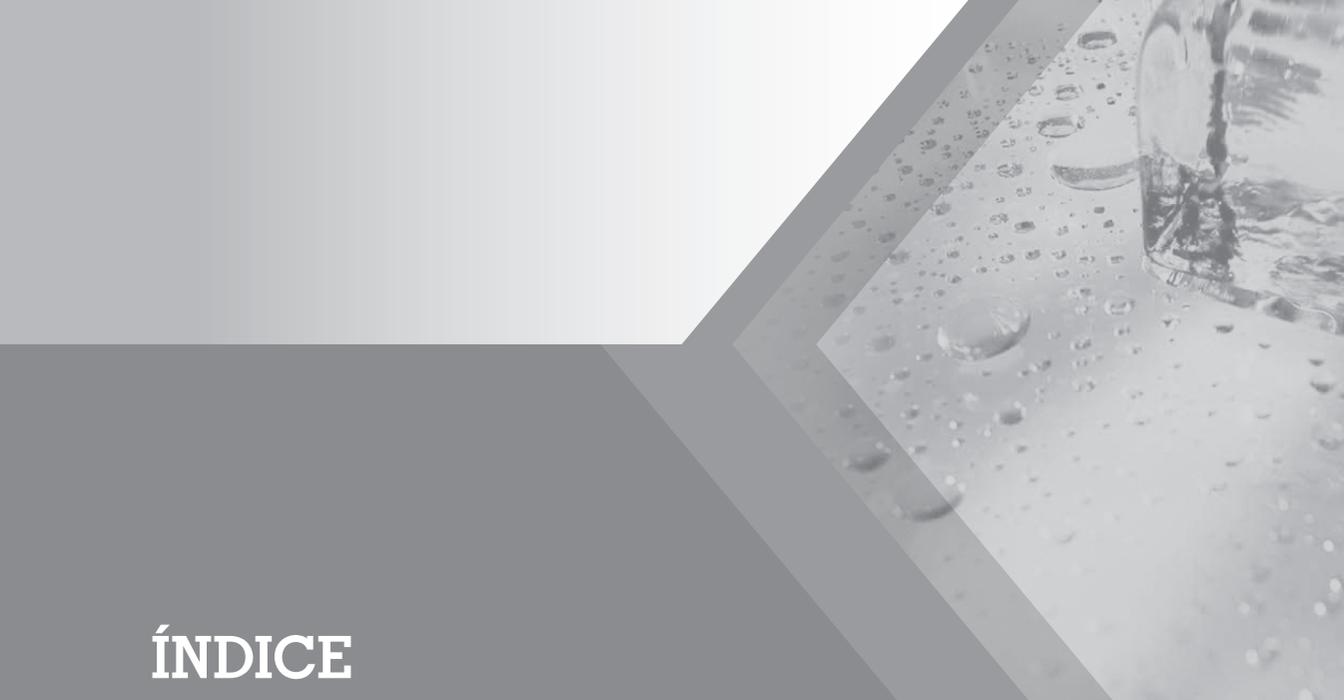
Jr. San Agustín N.º 612-624, Surquillo, Lima, Perú

Diciembre 2017

ISBN N.º 978-612-304-549-4

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N.º 2017-16887

Prohibida la reproducción parcial o total, por cualquier medio o método, de este libro sin previa autorización de la Empresa Editora Macro EIRL.



ÍNDICE

Introducción	17
1. Conceptos básicos	21
1.1 El calor y la temperatura	21
1.2 La refrigeración	21
1.3 Relación entre la temperatura, la presión y la ebullición	22
1.4 Presión absoluta y presión manométrica	23
1.5 Tonelada de refrigeración (TON)	24
2. Sistemas de unidades	27
2.1 Sistemas de unidades para realizar medidas	27
2.1.1 Un poco de historia	27
2.1.2 Sistemas de unidades obsoletas y existentes	29
2.1.3 Sistema Inglés de Unidades	30
2.1.4 Sistema Internacional de Medidas	32
2.2 Conversión de unidades	37
2.3 Prefijos del Sistema Internacional de Unidades o de Medidas	38
3. Métodos o sistemas de refrigeración	41
3.1 Principios básicos	41
3.2 Escalas de temperaturas más usadas	43
3.3 Objetivos de los métodos	43
3.4 Métodos para producir refrigeración	44
3.4.1 Refrigeración por compresión de vapor	44
3.4.2 Refrigeración por absorción	45
3.4.3 Refrigeración por adsorción	46
3.4.4 Refrigeración por eyección de vapor	48
3.4.5 Refrigeración por ciclo de aire	50
3.4.6 Refrigeración por Vortex	51

3.4.7 Refrigeración termoeléctrica	51
3.4.8 Refrigeración termoiónica	52
3.4.9 Refrigeración termomagnética	53
3.4.10 Refrigeración termoacústica	54
4. Sistema de refrigeración por compresión de vapor	57
4.1 Sistema simple de refrigeración	57
4.1.1 Compresor	57
4.1.2 Condensador	57
4.1.3 Dispositivo de expansión	58
4.1.4 Evaporador	58
4.2 Lado de baja presión y lado de alta presión	59
4.3 Ciclo de refrigeración	61
4.4 Características del compresor y factores que lo afectan	61
4.4.1 Calor de compresión	61
4.4.2 Eficiencia volumétrica del compresor	62
4.4.3 Efectos de los cambios en la presión de succión	63
4.4.4 Efectos de los cambios en la presión de descarga	63
4.4.5 Efectos de subenfriamiento del refrigerante líquido mediante agua o aire	64
4.4.6 Efectos del sobrecalentamiento del vapor que sale del evaporador	65
4.4.7 Efectos de las pérdidas de presión en la línea de descarga y en el condensador	65
4.4.8 Efectos de las pérdidas de presión en el evaporador	66
4.4.9 Efectos de las pérdidas de presión en la línea de succión	66
5. Compresores	67
5.1 Funciones de los compresores	67
5.2 Tipos de compresores	67
5.3 Compresores recíprocos	69
5.3.1 Clasificación	70
5.3.2 Velocidad del compresor	71
5.3.3 Funcionamiento básico del compresor	71
5.3.4 Válvulas de succión y de descarga	72
5.3.5 Desplazamiento del compresor	72
5.3.6 Volumen de espacio libre o espacio muerto	73
5.3.7 Lubricación	74
5.3.8 Enfriamiento del compresor	75
5.3.9 Capacidad del compresor	76
5.3.10 Compresores de dos etapas	76
5.3.11 Compresores con descargadores	77
5.3.12 Compresores en tándem	78
5.4 Par de arranque en compresores	78
5.5 Compresores para alta y para baja temperatura	79
5.6 Motores usados en refrigeración	81
5.6.1 Temperatura del motor	81
5.6.2 Motores de tipo abierto y transmisión por fajas o correas	82
5.6.3 Motores herméticos	83
5.6.4 Amperaje de la placa de identificación	84
5.6.5 Voltaje y frecuencia	85
5.6.6 Motores monofásicos	85
5.6.7 Motores trifásicos	102

5.7 Reemplazo de compresores de refrigeración y de aire acondicionado	112
5.7.1 Condiciones del compresor deteriorado	112
5.7.2 Sustitución del compresor	116
5.8 Lubricación de los compresores	118
5.9 Refrigerante líquido en el cárter	119
5.10 Normas de protección para motores y tableros eléctricos	120
5.10.1 Protección IP	121
5.10.2 Protección NEMA o clasificación NEMA	123
5.11 Capacidad frigorífica de compresores y métodos para variar su capacidad	124
5.11.1 Métodos para modular la capacidad de los compresores	127
6. Condensadores	153
6.1 Funciones de los condensadores	153
6.2 Tipos de condensadores	153
6.2.1 Condensadores enfriados por aire	153
6.2.2 Condensadores enfriados por agua	156
6.2.3 Condensadores evaporativos	158
6.3 Factores que afectan la capacidad del condensador	160
6.4 Temperatura de condensación	160
6.5 Gases no condensables	161
6.6 Diferencial de temperatura en la condensación	161
7. Evaporadores	165
7.1 Funciones de los evaporadores	165
7.2 Tipos de evaporadores	165
7.3 Construcción del serpentín con ventilador	168
7.4 Caída de presión y otros factores en el diseño del evaporador	169
7.5 Factores que afectan la capacidad del evaporador	169
7.6 Diferencial de temperatura en el evaporador	170
7.7 Descongelación de los evaporadores	173
7.7.1 Métodos de descongelación	174
8. Dispositivos de expansión	185
8.1 Funciones de los dispositivos de expansión	185
8.2 Tipos de dispositivos de expansión	185
8.2.1 Tubo capilar	186
8.2.2 Válvulas de expansión	196
9. Refrigerantes	209
9.1 Generalidades	209
9.2 Identificación de los refrigerantes	211
9.3 Evolución de los fluidos refrigerantes	212
9.4 Relación entre la temperatura y la presión de los refrigerantes	218
9.5 Evaporación de refrigerantes	219
9.6 Condensación de refrigerantes	220
9.7 Relación entre el refrigerante y el aceite	220
9.7.1 Propiedades de los aceites	221
9.7.2 Algunas indicaciones y recomendaciones para el uso de los aceites	224
9.8 Evacuación o vacío	226
9.9 Pruebas de fugas y carga de refrigerante	226

9.10 Fluidos refrigerantes formados por mezclas de refrigerantes	227
9.10.1 Características de las mezclas	228
9.10.2 El fraccionamiento	231
9.11 Las salmueras	244
10. Tuberías para refrigeración y aire acondicionado	247
10.1 Generalidades	247
10.2 Tuberías de descarga o de gas caliente	250
10.3 Tuberías de líquido	253
10.4 Tuberías de succión	254
10.5 Tubería de salida del condensador y tanque recibidor de líquido	270
10.6 Tuberías de suministro de gas caliente para descongelación	271
10.7 Tipos y tamaños de los tubos	271
10.8 Aislamiento de tuberías	274
10.8.1 Funciones del aislamiento	276
10.9 Materiales para soldaduras	277
10.10 Equipo oxiacetilénico para soldar	280
11. Componentes adicionales de un sistema frigorífico	285
11.1 Generalidades	285
11.2 Controles	286
11.2.1 Controles mecánicos	286
11.2.2 Controles electromecánicos	305
11.3 Accesorios	318
11.3.1 Recibidor de líquido	318
11.3.2 Filtro secador	320
11.3.3 Visor de líquido refrigerante	333
11.3.4 Válvula de cierre manual	334
11.3.5 Distribuidor de refrigerante	335
11.3.6 Intercambiador de calor	337
11.3.7 Acumulador de succión	338
11.3.8 Filtro de succión	339
11.3.9 Separador de aceite	340
11.3.10 Control de nivel de aceite	357
11.3.11 Depósito de aceite	360
11.3.12 Filtro de deshidratador para aceite	361
11.3.13 Válvulas de servicio	363
11.3.14 Válvulas de acceso	365
12. Fundamentos de deshidratación en un sistema de refrigeración	369
12.1 Presencia de humedad en un sistema de refrigeración	369
12.2 Deshidratación de un sistema de refrigeración	371
12.3 Presión absoluta y presión manométrica	373
12.4 Instrumentos que se usan para medir el vacío	375
12.5 Efecto de la altura sobre el nivel del mar del lugar donde se hace el vacío	376
12.6 Grado de vacío que debe alcanzarse	376
12.7 Qué se necesita para hacer vacío	377
12.8 Procedimiento para hacer vacío	379
12.9 Cómo se sabe si el vacío realizado es correcto	382

12.10	Algunas recomendaciones	382
12.11	Selección de una bomba de vacío	383
12.12	Descargador de gas o respiradero en bombas de dos etapas.	384
12.13	Factores que afectan la rapidez de la deshidratación	385
12.14	Tamaño de la bomba de vacío	387
13.	Factores que afectan el buen funcionamiento de equipos frigoríficos. Mantenimiento de los equipos	389
13.1	Factores que afectan el funcionamiento de un equipo	389
13.1.1	Calor	390
13.1.2	Sales metálicas.	391
13.1.3	Óxidos metálicos	391
13.1.4	Ácidos	391
13.1.5	Agua	392
13.1.6	Oxígeno.	392
13.1.7	Materiales de construcción	392
13.2	Funcionamiento y operación de los equipos frigoríficos.	393
13.3	Descongelamiento de los evaporadores	394
13.4	Mantenimiento de equipos frigoríficos	397
13.4.1	Recomendaciones al usar líquidos de limpieza	400
13.4.2	Herramientas básicas usadas en mantenimiento y servicios de equipos de refrigeración y de aire acondicionado.	401
13.4.3	Uso de instrumentos para pruebas eléctricas	403
14.	Por qué se emplea la refrigeración para la conservación de alimentos y otras aplicaciones	409
14.1	Generalidades	409
14.1.1	Acción sobre las propiedades físicas	410
14.1.2	Acción sobre las propiedades químicas	413
14.1.3	Acción sobre las propiedades biológicas	414
14.2	Refrigeración y conservación de alimentos	415
14.3	Causas de la descomposición de los alimentos	418
14.3.1	Efectos químicos	419
14.3.2	Efectos físicos.	423
14.4	Recomendaciones para conservar por refrigeración.	424
14.5	Condiciones de conservación.	425
14.5.1	Temperatura de almacenamiento	426
14.5.2	Humedad y movimiento del aire	427
14.6	Condiciones de congelación y almacenamiento congelado	433
14.6.1	Conservación por congelación.	434
14.6.2	Proceso de congelación	437
14.7	Congelación rápida y congelación lenta	439
14.8	Influencia de la rapidez de congelación en los alimentos. Las células	442
14.9	Maduración de la carne.	446
14.9.1	¿Qué es el <i>rigor mortis</i> ?	446
14.9.2	Maduración o añejado de carne	447
14.9.3	Comparación	448

15. Materiales aislantes y cargas térmicas en cámaras frigoríficas	451
15.1 Materiales aislantes	451
15.1.1 Características de los aislantes	452
15.1.2 Tipos de materiales aislantes	453
15.1.3 Espesor de material aislante que debe usarse en las cámaras frigoríficas	457
15.2 Cargas térmicas	459
15.2.1 Métodos para calcular cargas térmicas	460
15.2.2 Fuentes de las cargas térmicas o de ganancia de calor	460
15.3 Selección del equipo frigorífico	475
16. Factores que influyen en las cargas térmicas, en el diseño y en la construcción de cámaras frigoríficas	477
16.1 Tipos de cámaras frigoríficas	477
16.2 Influencia de la primera fuente de calor	480
16.3 Influencia de la segunda fuente de calor	484
16.4 Influencia de la tercera fuente de calor	485
16.5 Válvulas niveladoras o compensadoras de presión en cámaras frigoríficas	488
16.5.1 Selección de válvulas niveladoras o compensadoras de presión	490
16.5.2 Recomendaciones	492
17. Métodos suplementarios para la conservación de alimentos.	
Otros métodos	493
17.1 Métodos suplementarios para la conservación de alimentos	493
17.1.1 Métodos suplementarios	494
17.1.2 Acción de la radiación sobre los productos	498
17.1.3 Peligros sanitarios de los métodos suplementarios	500
17.2 Otros métodos de conservación	500
17.2.1 Características de la deshidratación o secado	501
18. Aplicaciones importantes de la refrigeración	507
18.1 Fabricación de hielo	507
18.1.1 Formas de hielo artificial	507
18.1.2 Refrigeración necesaria para hielo en bloques	514
18.2 Industria pesquera	522
18.3 Elaboración y conservación del vino	525
18.3.1 Breves datos históricos	525
18.3.2 Características del vino	527
18.3.3 Refrigeración durante la fermentación	528
18.3.4 Clarificación de los vinos	533
18.3.5 Concentración de los vinos	534
18.3.6 Las propiedades térmicas de los vinos	535
18.3.7 Clasificación por vinificación	536
18.3.8 Clasificación por colores	537
18.3.9 Clasificación en base al contenido de azúcar	538
18.3.10 Almacenamiento de vinos	538
18.3.11 Temperatura para servir y tomar vino	538
18.3.12 Algunas recomendaciones	540
18.4 Criónica o criogenia aplicada al ser humano	542
18.4.1 El sueño de la resurrección	543
18.4.2 La criogenia	543

18.4.3	La nanotecnología	544
18.4.4	No todo es ficción	544
19.	Pautas para acondicionamiento del aire	547
19.1	Comodidad del cuerpo humano	547
19.1.1	El metabolismo	547
19.1.2	Transferencia de calor	549
19.1.3	Condiciones que afectan el calor corporal	550
19.2	Aire acondicionado de confort y aire acondicionado de precisión	552
19.2.1	Relación de calor sensible	553
19.2.2	Densidades de carga térmica	555
19.2.3	Caudal de aire y limpieza del aire	556
19.2.4	Control de la temperatura	556
19.2.5	Control de la humedad	557
19.2.6	Tiempo de operación	558
19.3	Tipos de equipos de aire acondicionado	559
19.3.1	Características generales	563
19.3.2	Cálculos y selección	565
20.	Limpieza del aire	567
20.1	Limpieza del aire	567
20.2	Tipos de contaminantes	568
20.2.1	Contaminantes particulados	568
20.2.2	Contaminantes gaseosos	570
20.3	Daños de materiales y productos	571
20.4	Calidad del aire	572
20.5	Filtros para partículas de aire	572
20.5.1	Filtros fibrosos	573
20.5.2	Filtros de membrana	577
20.5.3	Filtros electrostáticos	578
20.5.4	Filtros combinados	579
20.6	Características de los filtros de partículas de aire	580
20.6.1	Penetración y rendimiento	580
20.6.2	Pérdida de carga y vida útil	581
20.6.3	Mantenimiento y consumo de energía	582
20.6.4	Limitaciones de operación y riesgos	582
20.7	Filtros de contaminantes gaseosos	583
20.7.1	Principios de operación	583
20.7.2	Características constructivas de filtros adsorbentes	586
20.8	Filtros de alta eficiencia	587
20.8.1	Nomenclatura de los filtros de alta eficiencia o filtros absolutos	588
20.8.2	Componentes de los filtros de alta eficiencia	589
20.8.3	Pruebas de los filtros de alta eficiencia	591
20.8.4	Comportamiento de los filtros de alta eficiencia	592
20.9	Aplicaciones, denominaciones y otras clasificaciones	593
20.9.1	Aplicaciones	593
20.9.2	Niveles de filtración y tamaño de ciertas partículas	594
20.9.3	Material filtrante para contaminantes sólidos	596
20.9.4	Denominación genérica de los tipos de filtros	596

20.10	Definiciones complementarias	599
20.10.1	Filtrado de aire	599
20.10.2	Selección de filtros	600
21.	Síndrome del edificio enfermo. Edificio verde.	
	Sostenibilidad. Certificación LEED	605
21.1	Síndrome del edificio enfermo (SEE)	605
21.1.1	Definición del SEE	606
21.1.2	Síntomas que prevalecen	607
21.1.3	Causas responsables del síndrome	608
21.1.4	Posibles factores de riesgo	609
21.1.5	Soluciones	613
21.2	Edificio verde	614
21.3	Sostenibilidad	615
21.3.1	Desarrollo sustentable y desarrollo sostenible	615
21.3.2	Conceptos para poder hacer mejor uso de los recursos en las construcciones. . .	617
21.4	Certificación LEED	619
21.4.1	Definición de LEED.	619
	Referencias bibliográficas	621

1

CONCEPTOS BÁSICOS

1.1 El calor y la temperatura

El calor es una forma de energía que se transmite desde una sustancia con alta temperatura hacia otra de menor temperatura. El *frío* es un término frecuentemente usado que puede interpretarse como «ausencia de calor». Dicha palabra nace como consecuencia de la sensación que se produce en una sustancia cuando esta pierde calor al aproximarse a otra con una temperatura menor.

Cuando se extrae calor a una sustancia, se la está «enfriando», ya que su temperatura va disminuyendo. A dicho calor extraído se le llama «calor sensible». Cuando un cuerpo continúa enfriándose, llega a un momento tal en que la temperatura no cambia a pesar de que se siga extrayendo calor. En este caso se señala que la sustancia se está condensando (si es gas o vapor) o se está congelando (si es líquido). A este tipo de calor se le denomina «calor latente».

1.2 La refrigeración

La refrigeración es todo proceso mediante el cual se extrae calor. Es muy útil para el hombre que las sustancias alcancen temperaturas menores a las del medio ambiente que le rodea. Para ello, se extrae calor sensible o latente según se necesite.

Se llama *sustancia* a cualquier objeto o fluido que se quiere refrigerar; por ejemplo, alimentos, agua, aire, etc.

De acuerdo con la experiencia y el resultado de numerosas pruebas, ensayos e investigaciones realizadas se han encontrado los valores de temperatura óptimos para conservar, sobre todo, alimentos, sin que estos se descompongan por algún tiempo. A pesar de que cada alimento tiene su propia temperatura, en el siguiente gráfico se muestran los rangos de las temperaturas usadas generalmente para los comestibles que pueden compararse con los rangos usados para el aire acondicionado y con las bajas temperaturas empleadas en la criogenia, desarrolladas por algunas industrias.

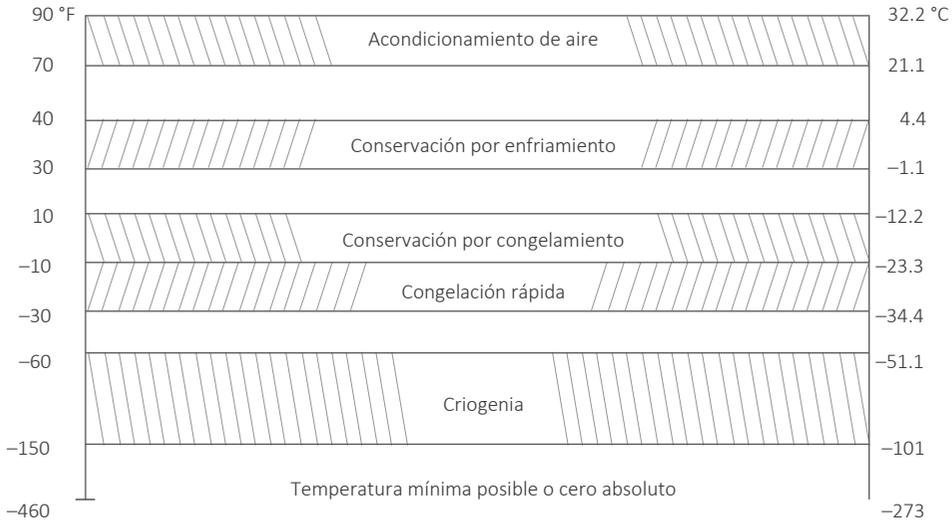


Figura 1.1 Rangos de temperaturas usadas en la refrigeración, el aire acondicionado y la criogenia.

Comentario

¿Cómo se congela la carne de res, pescado, ave, etc., si estos son sólidos?

Todo animal vivo o recién sacrificado tiene agua o humedad distribuida principalmente entre sus tejidos musculares, en mayor o menor proporción, que le da la apariencia de fresca a la carne. Pues bien, es justamente esta humedad la que se congela al extraerse calor, obteniéndose lo que se denomina «carne congelada».

El agua pura se empieza a congelar a 0 °C o 32 °F, mientras que las carnes se congelan a temperaturas menores por las sales diluidas en el agua que contienen.

1.3 Relación entre la temperatura, la presión y la ebullición

La atmósfera de aire que rodea a la Tierra es realmente una mezcla de gases (principalmente oxígeno y nitrógeno), cuyo peso sobre la superficie terrestre origina lo que se denomina presión atmosférica. A nivel del mar la presión atmosférica es igual a:

$$1 \text{ atm} = 14.7 \text{ lb/pulg}^2 = 1.033 \text{ kg/cm}^2 = 1.013 \text{ bar} = 760 \text{ mm Hg} = 29.92 \text{ pulg Hg}$$