

DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA EL CALCULO
DE CARGAS Y DISEÑO DE CAMARAS FRIGORIFICAS

OLIVER ALEXANDER RUIZ CALA
DIEGO ANDRES SUAREZ VILLAMIZAR

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2013

DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA EL CALCULO
DE CARGAS Y DISEÑO DE CAMARAS FRIGORIFICAS

OLIVER ALEXANDER RUIZ CALA
DIEGO ANDRES SUAREZ VILLAMIZAR

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Director

OMAR ARMANDO GÉLVEZ AROCHA

Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2013

Dedicatoria

Primero que todo a Dios por haberme guiado, confortado y dado la vida.

A mis padres Luis Ernesto Suárez y María Isbelia Villamizar, por su apoyo tanto económico como emocional en las diferentes etapas de mi vida y permitirme cumplir esta meta de mi vida.

A mis hermanos Ximena Andrea Suárez y Sergio Andrés Pardo y mi prima Katherine Suárez, por su ayuda, consejos y por todos los momentos que hemos compartido.

A todos mis amigos, a mis amigos del colegio, a mis amigos de inglés, a mis amigos de la universidad y a todas las personas que de una u otra forma han sido parte de mi vida gracias a todos ellos soy la persona que soy ahora.

A Edwin Leonardo Barajas, Andrey Orlando Cubillos, Ezequiel Villegas, Stefanny Velandia, Andrea Victoria, Marlon Vesga, Sergio Angarita, a todos ellos gracias por su apoyo en la realización de este proyecto, su confianza y su amistad.

A Oliver Alexander Ruiz Cala, mi compañero de proyecto y amigo.

Diego Suárez

DEDICATORIA

A Dios por llenarme cada día de vida.

*A mis padres Oliverio de Jesús Ruiz Narváez y Gladys Cala Castro
por su enorme amor y sacrificio para hacerme el hombre que soy,
infinitas gracias.*

*A mis hermanas Leidy Esteffany Ruiz Cala y María Fernanda Ruiz
Cala por su amor y consejos.*

*A Dalgy Lorena Zapata Sánchez por darme todo su corazón, amor y
ser un gran apoyo en mi vida.*

*A mis amigos Ezequiel Villegas y Diego Andrés Suarez por toda su
amistad y su gran apoyo en mi vida universitaria.*

A todas las personas que están en mi corazón.

Oliver Alexander Ruiz Cala

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero Omar Armando Gélvez Arocha, por su apoyo, colaboración y paciencia en el desarrollo del proyecto de grado.

Al ingeniero Luis Sepúlveda, por su tiempo y colaboración al explicarnos el funcionamiento del frigorífico metropolitano.

A los profesores de la escuela de Ingeniería Mecánica, por el conocimiento recibido de ellos durante toda la etapa de formación.

A nuestros compañeros, por sus consejos, enseñanzas y momentos compartidos.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	25
1. GENERALIDADES DE LAS CAMARAS FRIGORIFICAS.....	29
1.1. CÁMARA FRIGORIFICA.....	29
1.1.1. ¿Qué es una cámara frigorífica?.....	29
1.1.2. Principio de funcionamiento	29
1.1.3. Constitución física (paneles, aislantes, puertas, techos y pisos).....	30
1.1.3.1. Tamaños y tipos de compartimientos	31
1.1.3.2. Paneles	32
1.1.3.3. Techos y Pisos.....	33
1.1.3.4. Suelos	35
1.1.3.5. Puertas.....	37
1.1.3.6. Aislamientos.....	39
1.1.3.6.1. Aislamiento de cerramientos verticales.....	43
1.1.4. Barrera antivapor	44
1.1.5. Válvulas de equilibrado de presiones	46
1.1.6. Sistema de tuberías de desagüe	47
1.1.7. Detección de averías en cámaras.....	49
1.1.7.1. Problemas de flujo de aire en el evaporador	49
1.1.7.2. Problemas de las puertas	51
1.1.7.3. Problemas de dimensionamiento del sistema o carga de productos inapropiada.....	51
1.1.7.4. Problemas de desagüe	53
1.1.7.5. Problemas de descongelación del congelador	54
1.1.8. Aspectos relacionados con el diseño y la seguridad	54
1.1.8.1. Carga máxima de refrigerante	55
1.1.8.2. Sala de máquinas. Diseño y construcción.	56
1.1.8.3. Cámara frigorífica. Diseño y construcción.	58
1.1.8.4. Medidas de prevención y protección del personal.	59
1.1.9. Equipo de protección para el personal de cuartos fríos.....	63

1.1.10.	Jornada máxima del personal de cuartos fríos.	65
1.2.	SISTEMA FRIGORIFICO O DE REFRIGERACION	66
1.2.1.	Parámetros de diseño	66
1.2.2.	Sistema de refrigeración conforme a zonas de frío.....	66
1.2.3.	Sistema de refrigeración conforme la alimentación de refrigerante	67
1.2.4.	Principios básicos de la generación de frío.....	68
1.2.4.1.	Instalación frigorífica de compresión.....	68
1.2.4.2.	Instalación frigorífica de gas frío	69
1.2.4.3.	Instalación frigorífica de absorción.....	70
1.2.4.4.	Instalación frigorífica termoeléctrica.....	72
1.2.4.5.	Generador de frío vortex	73
1.2.5.	Ejemplos de Refrigeración Comercial e Industrial	74
1.3.	DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	81
1.3.1.	Refrigerantes.....	81
1.3.2.	Compresores.....	82
1.3.2.1.	Compresores alternativos	84
1.3.2.2.	Compresores rotativos	84
1.3.2.3.	Compresor centrífugo.....	86
1.3.3.	Condensadores.....	87
1.3.3.1.	Condensadores enfriados por aire	88
1.3.3.2.	Condensadores enfriados por agua	89
1.3.3.3.	Condensadores evaporativos	90
1.3.4.	Evaporadores.....	90
1.3.4.1.	Clasificación según fase a enfriar	92
1.3.4.2.	Clasificación según su funcionamiento	93
1.3.4.3.	Clasificación según su tipo de construcción	94
1.3.4.4.	Descarche en los evaporadores	96
1.3.5.	Dispositivos de control de flujo.....	98
2.	OBJETIVOS DEL PROYECTO	104
2.1.	OBJETIVO GENERAL	104
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	104

3.	RECOMENDACIONES PARA LA CONSERVACION DE PRODUCTOS.....	105
3.1.	PESCADO Y PRODUCTOS PESQUEROS	107
3.1.1.	Clasificación de Peces según características	108
3.1.1.1.	Pescados grasos.....	108
3.1.1.2.	Pescados Blandos	109
3.1.2.	Composición de los moluscos y crustáceos	109
3.1.3.	Aspectos de Productos pesqueros	110
3.1.3.1.	Endurecimiento:	110
3.1.3.2.	Efectos del Rigor Mortis.....	110
3.1.4.	Causas de deterioro Productos pesqueros.....	111
3.1.5.	Criterios organolépticos de la calidad del pescado	112
3.1.6.	Congelación del pescado.....	113
3.1.6.1.	Ventajas de congelar rápidamente el pescado	114
3.1.6.2.	Tipos de congelación	114
3.1.6.3.	Velocidad de Congelación de Pescados.....	115
3.1.7.	Almacenamiento de Pescados.....	115
3.2.	FRUTAS Y HORTALIZAS.....	118
3.2.1.	Clasificación según la respiración.....	118
3.2.1.1.	Climatéricos:	118
3.2.1.2.	No climatéricos.....	119
3.2.2.	Conservación de Frutas y Hortalizas:	120
3.2.2.1.	Preenfriamiento:	120
3.2.2.2.	Almacenamiento en refrigeración:	120
3.2.3.	Condiciones de almacenamiento:	121
3.2.4.	Posibles alteraciones por frío:.....	122
3.3.	CARNES	123
3.3.1.	Almacenamiento:	123
3.3.2.	Efecto de la congelación sobre calidad de la carne	124
3.3.3.	Conservación de productos varios de la carne	124
3.4.	AVES.....	126
3.4.1.	Razones de conservación.....	126

3.4.2.	Descongelación y consumo:	127
4.	HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA EL CÁLCULO DE CARGAS Y DISEÑO DE CÁMARAS FRIGORÍFICAS.....	129
4.1.	CÁLCULO DE LA CARGA	129
4.1.1.	Carga térmica por transmisión	130
4.1.1.1.	Ganancia de calor por pisos fríos.....	133
4.1.2.	Carga térmica del producto.....	138
4.1.3.	Carga térmica interna	140
4.1.3.1.	Motores eléctricos	140
4.1.3.2.	Personas	143
4.1.3.3.	Luces.....	144
4.1.4.	Carga térmica por filtración del aire.....	144
4.1.4.1.	Método de estimación por cambio de aire.....	145
4.1.5.	Carga térmica relacionada al equipo.....	147
4.1.6.	Otro tipo de cargas.....	150
4.2.	EMPAQUE Y EMBALAJE	151
4.2.1.	Definición de términos	152
4.2.1.1.	Empaque	152
4.2.1.2.	Embalaje.....	152
4.2.1.3.	Packaging.....	153
4.2.2.	Tipos de embalaje	154
4.2.3.	Paletización	155
4.2.4.	Normalización y especificaciones de embalajes de transporte para la comercialización internacional.....	156
4.2.5.	Contenedores.....	157
4.2.6.	Empaque de frutas y hortalizas.....	158
4.3.	Selección del equipo de refrigeración	159
4.3.1.	Balance del Equipo	160
4.3.2.	Diferencial de Temperatura	160
4.3.2.1.	Diferencial de temperatura para Cámaras de Almacenamiento Arriba de 32°F (0°C).	161

4.3.2.2.	Diferencial de temperatura para cuartos de almacenamiento abajo de 32°F (0°C).	162
4.3.3.	Seguridad del Producto/Control de la Capacidad	163
4.3.4.	Tipo de Operación Flujo de Aire	163
4.3.5.	Factores de Reducción	165
4.3.5.1.	Ambiente	165
4.3.5.2.	Altitud	166
4.3.5.3.	Factores de Corrección para Temperatura de Succión	167
4.3.5.4.	Potencia a 50 Ciclos	168
4.4.	HERRAMIENTA COMPUTACIONAL	169
4.4.1.	Presentación y uso del software	170
4.4.1.1.	Presentación	170
4.4.1.2.	Uso	171
4.4.2.	Requerimientos del Software	182
5.	MULTIMEDIA DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA EL CALCULO DE CARGAS Y DISEÑO DE CÁMARAS FRIGORIFICAS	183
5.1.	¿EN QUÉ CONSISTE LA MULTIMEDIA?	183
5.2.	VENTAJAS DEL USO DE UNA MULTIMEDIA	184
5.3.	REQUERIMIENTOS	185
5.3.1.	Requerimientos de uso	185
5.3.2.	Requerimientos del sistema	185
5.3.3.	Herramientas de desarrollo	186
5.3.4.	Diseño de la multimedia	187
5.3.4.1.	Distribución de espacios	188
5.3.5.	Navegación del sistema	191
5.3.5.1.	Contenidos de la Multimedia	192
5.3.6.	Elementos Identificativos de la multimedia	201
5.3.6.1.	Layout de las páginas	201
5.3.6.2.	Accesibilidad	202
5.3.7.	Elementos multimedia	203
6.	PROGRAMAS OFRECIDOS EN EL MERCADO	205

6.1.	PROGRAMA COOLTOOL: THE STANDARD IN TECHNICAL SOFTWARE FOR REFRIGERATION AND AIR CONDITIONING	205
6.2.	PROGRAMA INSTAWIN 2005.....	209
6.3.	PROGRAMA WINREF	217
7.	COMPARACIÓN DE PROGRAMAS PARA EL CÁLCULO DE CÁMARAS FRIGORÍFICAS	234
7.1.	CARGA DEL PRODUCTO.....	235
7.1.1.	Carga del producto WINREF	235
7.1.2.	Carga del producto de la herramienta computacional	238
7.2.	CARGA POR PERDIDAS	240
7.2.1.	Paredes.....	241
7.2.1.1.	Paredes con WINREF	241
7.2.1.2.	Paredes con la herramienta computacional.....	242
7.2.2.	Infiltración.....	243
7.2.2.1.	Infiltración con WINREF	243
7.2.2.2.	Infiltración con la herramienta computacional.....	244
7.2.3.	Motores	245
7.2.3.1.	Motores con WINREF	245
7.2.3.2.	Motores con la herramienta computacional	246
7.2.4.	Personas	247
7.2.4.1.	Personas con WINREF	247
7.2.4.2.	Personas con la herramienta computacional	248
7.2.5.	Luces.....	249
7.2.5.1.	Luces con WINREF.....	249
7.2.5.2.	Luces con la herramienta computacional.....	250
7.3.	SELECCIÓN DE EQUIPOS	251
7.3.1.	Selección de equipos con WINREF	251
7.4.	RESULTADOS.....	258
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	260
	BIBLIOGRAFIA.....	262

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Exportaciones acumuladas subsector Agroindustrial	27
Tabla 2. Principales Aislamientos.....	41
Tabla 3. Medidas de Contingencia contra Accidentes.....	59
Tabla 4. Equipo de Protección de Personal	63
Tabla 5. Control de capacidad del compresor por desvío de gas caliente	81
Tabla 6. Características de Buena y Mala calidad	112
Tabla 7. Velocidad de Avance del Frente de Hielo Recomendadas para Pescados de Acuerdo al Método de Congelación	115
Tabla 8. Temperatura y Duración de un producto en Almacenamiento	116
Tabla 9. Duración útil en Hielo	117
Tabla 10. Temperaturas de Almacenamiento de Carnes	123
Tabla 11. Duración del Pollo en Almacenamiento.....	127
Tabla 12. Conductividad Térmica de aislantes para cuartos fríos.....	131
Tabla 13. Espesor mínimo de aislamiento	132
Tabla 14. Descuento por efecto solar.....	133
Tabla 15. Ejemplo de datos de entrada requeridos para la estimación de la ganancia de calor en pisos fríos	135
Tabla 16. Temperaturas medias y amplitudes en entradas de climas fríos y tibios.	137
Tabla 17. Ganancia de calor de motores eléctricos típicos	142
Tabla 18. Calor equivalente por ocupación	143
Tabla 19. Cambios de aire promedio en 24 horas para cuartos de almacenamiento	146
Tabla 20. Calor removido de aire del enfriamiento para cuartos de almacenamiento (BTU por pie ³)	147
Tabla 21. Aspectos importantes al seleccionar un material de empaque y embalaje	153
Tabla 22. Tipos de embalaje	154

Tabla 23. Propiedades de los contenedores	157
Tabla 24. Diferenciales de temperatura recomendados (DT) para cuatro Clases de productos Alimenticios (Evaporadores de Aire Forzado)	162
Tabla 25. Cambios de aire recomendados por hora	165
Tabla 26. Efectos de la altitud en los equipos refrigerados por aire	167
Tabla 27. Comparación entre la herramienta Computacional y WINREF	259
Tabla 28. Selección del equipo por WINREF	259
Tabla 29. Selección del equipo por la herramienta computacional	259

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Exportaciones de Países con TLC con Colombia. Destinos de las exportaciones no mineras (sin café).....	25
Figura 2. Exportaciones de Países con Acuerdo Comercial. Destinos de las exportaciones no mineras (Sin café)	26
Figura 3. Detalles de la Unión de Paneles Techo - Pared.....	33
Figura 4. Estructura del Techo de la Cámara.....	34
Figura 5. Puertas de cámaras	37
Figura 6. Cerramientos Verticales de la cámara	44
Figura 7. Válvula equilibradora de presión	47
Figura 8. Sistema de tuberías de Desagüe para cámaras	49
Figura 9. El motor del ventilador del Evaporador B funciona mal.....	50
Figura 10. La importancia del flujo de aire alrededor de Productos congelados	52
Figura 11. Instalación Frigorífica de Compresión	69
Figura 12. Instalación Frigorífica de Gas Frío	70
Figura 13. Instalación Frigorífica de Absorción	71
Figura 14. Instalación Frigorífica Termo Eléctrica	72
Figura 15. Generador de Frío Vortex	73
Figura 16. Diagrama de Instalación de Refrigeración para cámara Fría de gran tamaño	74
Figura 17. Válvula Solenoide tipo EVR	76
Figura 18. Válvula de cierre.....	77
Figura 19. Diagrama clave, corriente de control para instalación de refrigeración	78
Figura 20. Control de Capacidad del Compresor por desvío de gas caliente	80
Figura 21. Clasificación de los Compresores	83
Figura 22. Clasificación de los condensadores	88
Figura 23. Clasificación de los Evaporadores	91
Figura 24. Válvula de expansión Automática	100

Figura 25. Válvula de expansión termostática.....	101
Figura 26. Control con Flotador de baja Presión.....	102
Figura 27. Control con flotador de alta presión.....	103
Figura 28. Producto Pesquero en Hielo	108
Figura 29. Cambios Respiratorios de Algunas Frutas	119
Figura 30. Temperatura Sugerida de Refrigeración de Acuerdo a Cada Producto .	122
Figura 31. Beneficio de calor de piso de refrigerador.....	136
Figura 32. Transferencia de calor máxima por unidad de área	137
Figura 33. Pantalla de inicio de la herramienta Computacional.....	170
Figura 34. Interfaz de módulos de la herramienta Computacional	172
Figura 35. Interfaz de enfriamiento de la mercancía de la herramienta computacional	173
Figura 36. Interfaz de cargas por pérdidas de la herramienta Computacional	174
Figura 37. Interfaz de paredes de la herramienta Computacional.....	175
Figura 38. Interfaz de infiltración de la herramienta Computacional.....	176
Figura 39. Interfaz de motores y equipos de la herramienta computacional	177
Figura 40. Interfaz de personas de la herramienta Computacional	178
Figura 41. Interfaz de luces de la herramienta Computacional	179
Figura 42. Interfaz de pérdidas totales de la herramienta computacional	180
Figura 43. Interfaz de Selección de equipos de la herramienta Computacional.....	181
Figura 44. Interfaz de selección de equipos de la herramienta Computacional	181
Figura 45. Interfaz de resultados de la herramienta Computacional	182
Figura 46. Espacios de Diseño del Módulo I	188
Figura 47. Espacios de Diseño de Módulo II.....	189
Figura 48. Demostración Despliegue de contenido en el módulo	190
Figura 49. Descripción del Espacio de Autoría en el Módulo	191
Figura 50. Contenido de la Multimedia.....	193
Figura 51. Información inicial Grupo de Equipo de Refrigeración en el Módulo	195
Figura 52. Información Inicial del Grupo de Otros elementos de las Cámaras Frigoríficas en el módulo	196

Figura 53. Módulo de Montaje de Cámaras Frigoríficas.....	197
Figura 54. Módulo Cámara Frigorífica Tipo Industrial	198
Figura 55. Animación de cámara Frigorífica Tipo Industrial	199
Figura 56. Animación de Lubricación del Compresor.....	200
Figura 57. Ciclos termodinámicos de la multimedia	201
Figura 58. Tabla de Catálogos de la Multimedia	204
Figura 59. Pantalla de inicio de Programa Cool tool	206
Figura 60. Cálculo de Capacidad de Carga Frigorífica.....	206
Figura 61. Diseño de una cámara Frigorífica	207
Figura 62. Características del producto.....	208
Figura 63. Dimensiones paredes de la cámara	208
Figura 64. Presentación Programa Instawin.....	209
Figura 65. Cálculo del coeficiente k en el programa Instawin.....	210
Figura 66. Materiales aislantes en el Programa Instawin	211
Figura 67. Lista de Producto en el programa Instawin	211
Figura 68. Lista de Zonas Climáticas en el programa Instawin	212
Figura 69. Cálculo de Cámaras Frigoríficas	213
Figura 70. Cálculo de Cámaras Frigoríficas - Dimensiones de la Cámara.....	214
Figura 71. Cálculo de Cámaras Frigoríficas - Otras Características	215
Figura 72. Cálculo de Cámaras Frigoríficas - Resultados	216
Figura 73. Selección del Producto.....	218
Figura 74. Enfriamiento del producto	219
Figura 75. Selección del tipo de Empaque	220
Figura 76. Cálculo de carga por enfriamiento del empaque.....	221
Figura 77. Carga Total enfriamiento de la Mercancía	222
Figura 78. Pérdidas a través de las paredes, techo y piso.....	223
Figura 79. Pérdidas por ventilación	224
Figura 80. Pérdidas de calor por máquinas.....	225
Figura 81. Calor desprendido por personas	226
Figura 82. Calor Aportado por la Iluminación	227

Figura 83. Calor total por pérdidas	228
Figura 84. Carga Frigorífica Total.....	229
Figura 85. Refrigerante a Utilizar.....	230
Figura 86. Selección del compresor	231
Figura 87. Selección del evaporador.....	232
Figura 88. Equipo Seleccionado.....	233
Figura 89. Selección del producto con WINREF	235
Figura 90. Introducción de datos del producto de WINREF	236
Figura 91. Selección del Embalaje de WINREF	237
Figura 92. Carga del producto de WINREF	238
Figura 93. Inicio de la herramienta Computacional	239
Figura 94. Cálculo de la carga del producto de la herramienta Computacional	240
Figura 95. Pérdida de Carga, Paredes, WINREF	241
Figura 96. Pérdida de carga, paredes, herramienta computacional	242
Figura 97. Infiltración con WINREF	243
Figura 98. Infiltraciones de la herramienta Computacional	244
Figura 99. Pérdidas de los motores WINREF.....	245
Figura 100. Pérdidas de los motores con la herramienta computacional	246
Figura 101. Pérdida de la carga, personas, WINREF	247
Figura 102. Pérdida de la carga, personas Herramienta Computacional	248
Figura 103. Pérdida de la carga por luces con WINREF	249
Figura 104. Pérdida de la carga por luces con la herramienta Computacional	250
Figura 105. Selección de Equipo WINREF	251
Figura 106. Selección Compresor WINREF.....	252
Figura 107. Selección evaporadores WINREF.....	253
Figura 108. Equipos Seleccionados	254
Figura 109. Selección de equipos con la herramienta Computacional.....	255
Figura 110. Selección del condensador con la herramienta Computacional.....	256
Figura 111. Selección del evaporador con la herramienta Computacional	257
Figura 112. Informe de la herramienta Computacional	258

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Datos de composición, punto de congelación inicial, y los calores específicos de los alimentos.....	265
Anexo B. El calor de respiración de frutas y hortalizas frescas a diferentes temperaturas.....	269

RESUMEN

TITULO: DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA EL CALCULO DE CARGAS Y DISEÑO DE CAMARAS FRIGORIFICA¹

AUTORES:

OLIVER ALEXANDER RUIZ CALA

DIEGO ANDRES SUAREZ VILLAMIZAR²

PALABRAS CLAVES:

COMPRESORES, EVAPORADORES, VALVULAS, CARGA INTERNA, CARGA DE PRODUCTO, LA CARGA DE TRANSMISIÓN.

DESCRIPCIÓN:

La herramienta computacional para el cálculo de cargas y diseño de cámaras frigoríficas, permite la selección de los productos, realiza el cálculo de la carga térmica necesaria a retirar teniendo en cuenta las cargas por pérdidas como paredes, equipos, luces, personas, infiltración de aire y por ultimo permite seleccionar los equipos (unidad condensadora y evaporador) para dichas condiciones

Dentro del proyecto se realizaron una serie de etapas, iniciando con el estudio de los factores que intervienen en el diseño de cuartos frigoríficos y el estudio de los diferentes productos a almacenar y su comportamiento. En la segunda etapa, se hizo una visita técnica al frigorífico metropolitano y se estudió su operación. En la tercera etapa se creó una base de datos de los productos con sus características térmicas y otra base de datos de los equipos necesarios para la cámara frigorífica. En la cuarta etapa se elaboró un modelo de la herramienta donde se crearon unos módulos independientes, los cuales se encargaban de los diferentes cálculos de estimación de la carga.

Posteriormente se desarrolló completamente la herramienta computacional y se realizaron pruebas de funcionamiento contra otra herramienta ofrecida en el mercado, además se realizó una multimedia explicativa como apoyo de la herramienta computacional, donde contiene información de las diferentes cámaras frigoríficas, equipos que intervienen en el ciclo de refrigeración y una animación del funcionamiento de una cámara frigorífica tipo industrial.

¹ Trabajo de Grado

² Facultad de Ingeniería Fisicomecánicas, Escuela de Mecánica. Director Omar Armando Gélvez Arocha

SUMMARY

TITLE: DEVELOPMENT OF A COMPUTATIONAL TOOL FOR CALCULATING OF LOADS AND DESIGN OF COOLING CAMERAS ³

AUTHORS

OLIVER ALEXANDER RUIZ CALA

DIEGO ANDRES SUAREZ VILLAMIZAR⁴

KEY WORDS:

Compressor, Evaporators, Valves, Internal Load, Product Load, Transmission Load.

DESCRIPCIÓN:

The computational tool for calculating of loads and design of cooling cameras, allows the selection of products, perform the calculation of the thermal load required to remove loads given by lost loads as walls, equipment, lights, people, air infiltration and finally allows us to select the equipment (condensing unit and evaporator) for such conditions.

The project was carried out in several stages, beginning with the study of the factors involved in the design of refrigerating rooms and the study of the different products to store and behavior. In the second stage, a technical visit was made to the metropolitan refrigerator and studied its operation. In the third stage was created database of products with its thermal characteristics and another database of the necessary equipment for the cold room. In the fourth stage was elaborated a model of the tool which created some separate modules, which were responsible for the different calculations of the load estimation.

Subsequently was fully developed the computational tool and conducted performance tests against another tool offered in the market, also conducted an explanatory multimedia as support of the computational tool, which contains information on the different cold rooms, equipment involved in the refrigeration cycle and an animation of the operation of an industrial cold storage.

³ Degree Work.

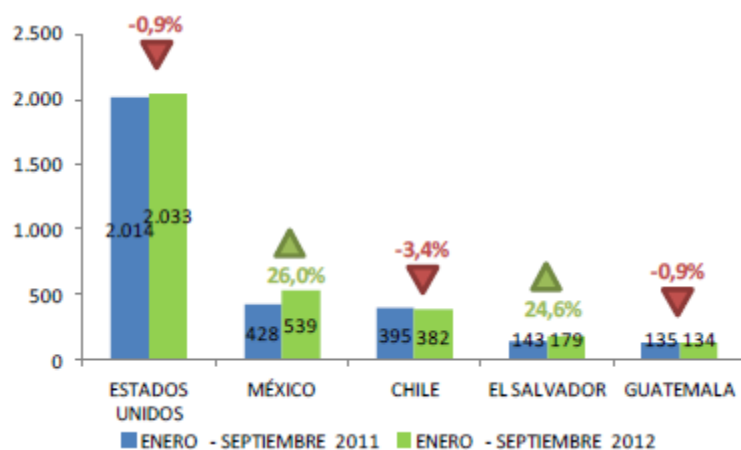
⁴ Physical-Mechanical Sciences Faculty, Mechanical Engineering, Eng. Omar Armando Gélvez Arocha

INTRODUCCIÓN

Colombia es un país rico en variedad y cantidad de alimentos, de los cuales muchos son cultivados en los campos y otros pasan por diferentes procesos hasta llegar al consumidor final. Además también es un país en crecimiento y con un gran potencial que está abriendo sus puertas a mercados internacionales.

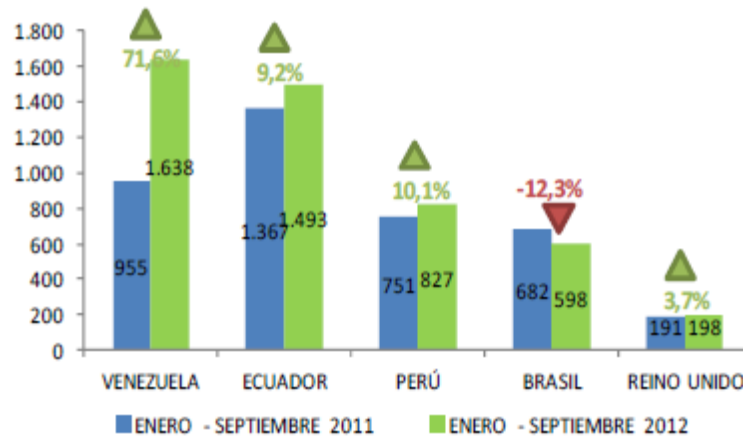
En la actualidad se evidencian los esfuerzos políticos por abrir estos mercados por medio de tratados y acuerdos comerciales, y de esta manera eliminar algunos aranceles que se dan en la exportación. Estos son ejemplos de algunos de ellos y cómo han beneficiado al mercado de exportaciones de Colombia haciendo una comparación entre el año 2011 y el 2012.

Figura1. Exportaciones de Países con TLC con Colombia. Destinos de las exportaciones no mineras (sin café).



Fuente: Tomado de <http://www.proexport.com.co/sites/default/files/presentacion_informe_exportaciones_ene_-_sept_2012.pdf>

Figura 2. Exportaciones de Países con Acuerdo Comercial. Destinos de las exportaciones no mineras (Sin café)




Fuente: Tomado de <http://www.proexport.com.co/sites/default/files/presentacion_informe_exportaciones_ene_-_sept_2012.pdf>

Debido a estos comportamientos y a la globalización, los productos colombianos deben dejar atrás la mentalidad de competir entre ellos mismos y competir internacionalmente con los otros mercados, enfocándose en mejorar tanto sus productos, como también la calidad de los mismos.

Para ello pueden prestar atención en el cuidado de transporte y almacenamiento de productos en exportación. La siguiente tabla muestra algunos de ellos en el subsector Agroindustrial y la diferencia entre el año 2011 y 2012 que se han exportado.

Tabla 1. Exportaciones acumuladas subsector Agroindustrial

 EXPORTACIONES TOTALES COLOMBIANAS SEGÚN GERENCIA - SECTOR - SUBSECTOR ACUMULADO SEPTIEMBRE 2011- 2012		
GERENCIA SUBSECTOR	DIFERENCIA \$US	VARIACIÓN 2012/2011
Agroindustria	172.103.818	5,1%
Agroindustrial	-55.299.708	-3,8%
Preparaciones alimenticias diversas	22.626.670	29,0%
Frutas y hortalizas procesadas	-8.524.442	-18,4%
Productos procesados del mar	19.342.419	117,4%
Bebidas alcohólicas y no alcohólicas	-532.413	-1,9%
Lácteos	87.325	2,4%
Cárnicos	-1.558.310	-95,6%
Flores y plantas vivas	-12.736.534	-1,3%
Agrícola	-11.165.907	-1,6%
Banano	-15.938.257	-2,7%
Frutas excepto banano	3.072.626	7,8%
Semillas y frutos oleaginosos	7.127.829	35,6%
Legumbres y hortalizas frescas	-2.258.634	-19,3%
Pecuario	244.775.695	392,0%
Carnes y despojos comestibles	18.904.722	110,3%
Subproductos de origen animal	3.762.299	59,2%
Avícola	735.402	56,0%
Acuícola y pesquero	6.530.272	6,0%
Atunes frescos, congelados o refrigerados	-4.727.424	-7,7%
Crustáceos y moluscos	27.266.756	880,6%
Filetes de pescado	824.739	4,6%
Los demás pescados frescos, congelados o refrigerados	5.833.918	189,6%
Pescados y subproductos de pescado secos, salados, ahumados	147.298	19,6%
Camarones y langostinos	-22.815.015	-100,0%

Fuente: Tomado de <<http://www.proexport.com.co>>

Para algunos de estos productos es importante el uso de cámaras frigoríficas, ya que permiten almacenar los productos a unas condiciones adecuadas y conservar sus cualidades nutritivas, las cuales comienzan a perderse después de recogido o elaborado el producto.

Los cuartos frigoríficos necesitan tener una especial atención a la hora de ser diseñados y construidos, pues cada alimento o producto a almacenar, requiere de

una conservación a una temperatura, humedad relativa y una composición de la atmosfera distinta y adecuada para evitar la proliferación de microorganismos.

El diseño de cuartos frigoríficos puede realizarse por algunos programas de ayuda, pero son versiones “betas” y por otra parte las versiones completas presentan licencias muy costosas y fuera del alcance de las micros o medianas empresas. Este problema puede generar confusión al usuario, el planeamiento seria deficiente, pues no existen herramientas suficientes para seleccionar los componentes de la cámara frigorífica.

En búsqueda de optimizar el proceso de elaboración de cámaras frigoríficas en el campo industrial y para fines educativos, se presenta en el proyecto una herramienta computacional que permita el cálculo de cargas y el diseño de cámaras frigoríficas. La herramienta facilita los cálculos de diseño de cámaras frigoríficas reduciendo los tiempos y costos que son valiosos a la hora del diseño, cuenta con una gran variedad de productos como carne, verduras, lácteos y frutas que se seleccionaran para realizar los cálculos de la carga térmica a retirar, tomando en cuenta la temperatura de almacenamiento de cada uno, y proporcionando unos planos preliminares de la estructura general de la cámara y la selección de los componentes del sistema mecánico, a partir de una base de datos de los fabricantes.

La utilidad del proyecto no solo se plasmara en la ventaja competitiva que pueda lograrse en el sector industrial sino que además la comunidad académica de la escuela de ingeniería mecánica de la Universidad Industrial de Santander, contará con una excelente herramienta de aprendizaje en el ámbito de la refrigeración industrial, tanto a nivel de pregrado como en los proyectos de posgrado que se desarrollen a futuro.

1. GENERALIDADES DE LAS CAMARAS FRIGORIFICAS

1.1. CÁMARA FRIGORIFICA

1.1.1. ¿Qué es una cámara frigorífica?

Una cámara de refrigeración es un recinto aislado térmicamente dentro del cual se contiene materia para extraer su energía térmica. Esta extracción de energía se realiza por medio de un sistema de refrigeración. Su principal aplicación es en la conservación de alimentos o productos químicos⁵.

En la termodinámica clásica se la puede considerar como un sistema cerrado, debido a que la materia contenida en ella no puede cruzar las fronteras, pero la energía propia del sistema sí.⁶

1.1.2. Principio de funcionamiento⁷

Una cámara de refrigeración no existe en sí para enfriar, sino más bien extraer la energía expresada en calor contenida en su interior, todo esto por medio de un sistema frigorífico. En el interior de la cámara se ubica uno o más evaporadores de refrigerante (generalmente de tiro forzado, bien sea para evaporadores de expansión directa o evaporadores inundados según la naturaleza del sistema frigorífico), mientras el resto de los componentes del sistema se encuentran remotos. El objetivo

⁵Colaboradores de Wikipedia. *Cámara de refrigeración* [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2013 [fecha de consulta: 13 de julio del 2013]. Disponible en <http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=C%C3%A1mara_de_refrigeraci%C3%B3n&oldid=67817528>.

⁶Yunus A. Cengel & Michael A. Boles "Termodinámica" Sexta edición 2008 pág. 10

⁷Colaboradores de Wikipedia. *Cámara de refrigeración* [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2013 [fecha de consulta: 13 de julio del 2013]. Disponible en <http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=C%C3%A1mara_de_refrigeraci%C3%B3n&oldid=67817528>.

del evaporador es absorber la energía térmica (expresado como calor latente) al suceder el cambio de estado del refrigerante; mientras el líquido se va evaporando a baja temperatura al interior de este intercambiador de calor, absorbe energía térmica del aire que circula por las paredes exteriores del evaporador. A su vez, el suministro de refrigerante es controlado por una válvula de expansión.

Por su parte, la cámara debe estar aislada térmicamente a fin de minimizar la transferencia de calor por su estructura propia. Esto se logra gracias a paneles frigoríficos contruidos con polímeros sintéticos de bajo coeficiente de transferencia de calor.

1.1.3. Constitución física (paneles, aislantes, puertas, techos y pisos)

La constitución o materialización de una cámara de refrigeración se define en función de la solicitud térmica y condiciones medioambientales a las que esté sometida, es decir, su carga térmica y temperaturas tanto exterior como interior, entre otros parámetros a considerar. En resumidas cuentas, lo que define la materialización (y en la actualidad) de las cámaras son los paneles autosoportantes de Poliestireno (POL), Poliuretano expandido (PUR) y Poliisocianurato (PIR) revestidos en láminas de acero prepintado.⁸

⁸Colaboradores de Wikipedia. *Cámara de refrigeración* [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2013 [fecha de consulta: 13 de julio del 2013]. Disponible en <http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=C%C3%A1mara_de_refrigeraci%C3%B3n&oldid=67817528>.

1.1.3.1. Tamaños y tipos de compartimientos

Los paneles aislados de las cámaras normalmente tienen un espesor de unos 10 cm y están unidos mediante anclajes especiales. La mayoría de los paneles utilizan espuma de uretano, que tiene un valor de aislamiento R-30, equivalente a 25 cm de aislamiento de fibra de vidrio. A diferencia de la fibra de vidrio, el uretano poco poroso no absorbe la humedad y, por tanto, mantiene sus propiedades de aislamiento alargando el tiempo de vida de la cámara.

Las cámaras se identifican por su tamaño y su aplicación de temperatura. El tamaño bien dado por las dimensiones exteriores de longitud, anchura y altura. La primera dimensión que se suele especificar es la más corta de entre la longitud y la anchura y por último se indica la altura. La aplicación de temperatura será la correspondiente a un frigorífico (enfriador) o a un congelador.

Los paneles de la cámara son suministrados por la fábrica y los técnicos de instalación montan la cámara en el lugar de trabajo. Las dimensiones de las cámaras más pequeñas son aproximadamente de 1,2m X 1,2 m X 1,8 m y disponen de una unidad de refrigeración autocontenida en el panel superior.

Las cámaras más grandes se conocen como “edificios refrigerados” o “almacenes refrigerados”. Son tan grandes que las carretillas elevadoras pueden entrar en ellas para cargar y descargar los productos.

1.1.3.2. Paneles

Estos paneles constituidos por polímeros sintéticos tienen un bajo coeficiente global de transferencia de calor debido al bajo coeficiente de conductividad térmica de sus materiales (principalmente el material aislante), que minimiza las pérdidas por conducción y convección entre los lados interior y exterior de la cámara. A su vez, estos paneles están disponibles en distintos espesores lo que implica una variación indirectamente proporcional a su coeficiente global de transferencia de calor⁹.

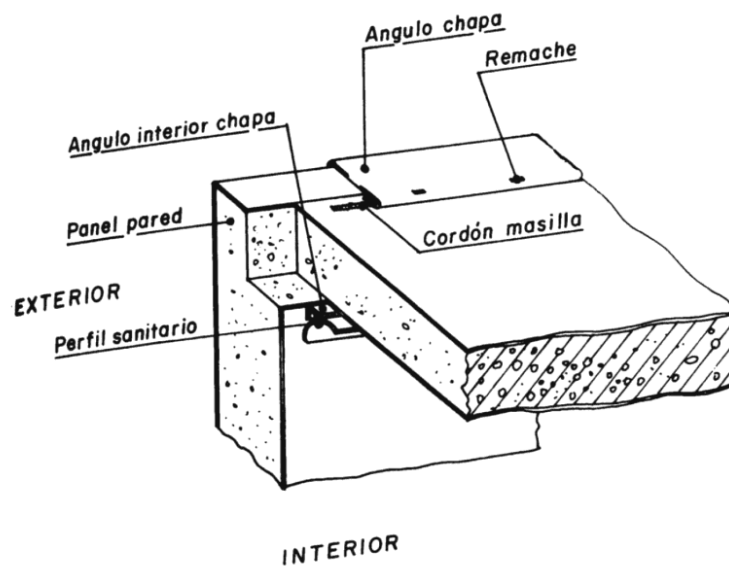
De esta manera (a modo de ejemplo) a mayor diferencia de temperatura exterior e interior, mayor espesor de panel para un mismo material.

En la actualidad los paneles prefabricados constituyen, con diferencia, el material prefabricado más utilizado para la construcción de cámaras frigoríficas, utilizándose como material aislante el poliestireno expandido y con mucha mayor frecuencia el poliuretano. En ambos casos el aislante suele estar recubierto por dos chapas de acero de 0.5 o 0.6 mm, que pueden estar galvanizadas o lacadas. Los paneles de poliestireno suelen tener un espesor de 50 a 250mm y una longitud de hasta 12m.

Los paneles de poliuretano suelen tener un espesor de 30 a 180 mm y una longitud de hasta 12m. Está en auge el uso de los paneles prefabricados se deben por un lado a que constituyen una solución técnica muy adecuada, de fácil instalación, gran rapidez de montaje, fácil mantenimiento y por otro, a su constante reducción de precio, resultando en muchas ocasiones competitivos con las fábricas de ladrillos o bloques tradicionales, sobre todo cuando estas deben ser aisladas.

⁹ Ibid

Figura 3. Detalles de la Unión de Paneles Techo - Pared



Fuente: Tomado de <http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=C%C3%A1mara_de_refrigeraci%C3%B3n&oldid=67817528>

1.1.3.3. Techos y Pisos

Existen distintas soluciones para techos y pisos de cámaras de refrigeración conforme su tamaño y temperatura de operación. En cámaras pequeñas, para los techos se pueden usar desde los mismos paneles de los paramentos verticales, dándole acabados especiales, hasta usar paneles especialmente diseñados para este fin, que tienen una terminación y ensamble especial (a pedido). En cámaras de mayor envergadura, estos deben ir colgados a la estructura matriz que cubija la cámara por medio de anclajes o elementos especiales; esto se hará por medio de cadenas o piolas metálicas, según su peso propio. Conforme el tamaño e intensidad de tráfico de la cámara se pueden utilizar paneles especialmente diseñados para ser utilizados como panel-piso, los que tienen un revestimiento especial que permite un

tráfico ligero pero no admiten vehículo motorizado alguno como los clásicos montacargas de cámaras industriales.¹⁰

Cuando los techos no tienen que soportar cargas, suelen construirse mediante materiales ligeros sobre los que se aplica capas de poliuretano inyectado in situ; se colocan placas de poliestireno, o productos similares a los anteriores, siendo preciso establecer exteriormente la barrera antivapor.

Para el soporte de los techos suelen utilizarse estructuras auxiliares o de vigas de madera, uniendo el material aislante a esta evitando los puentes térmicos.¹¹

Figura 4. Estructura del Techo de la Cámara



FUENTE: Diseño de un Software para calcular cámaras frigoríficas. Tesis de Pregrado.

¹⁰Colaboradores de Wikipedia. *Cámara de refrigeración* [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2013 [fecha de consulta: 13 de julio del 2013]. Disponible en <http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=C%C3%A1mara_de_refrigeraci%C3%B3n&oldid=67817528>.

¹¹PILLIGUA CHILÁN, Leonel Iván. "Diseño de un Software para calcular cámaras frigoríficas". Director: Francisco Andrade. Tesis Pregrado. Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2006.

1.1.3.4. Suelos

Para dar solución a los suelos de las cámaras frigoríficas existen varias alternativas conforme al tamaño y temperatura de diseño; Sin embargo el criterio que prima es la temperatura de operación de la misma; si la cámara ha de trabajar por debajo de 0°C requiere de un suelo tratado y libre de humedad para evitar la congelación, por transmisión, de la humedad propia de la tierra, evento que por dilatación de los cristales de hielo provocará fisuras o levantamientos en el suelo de la cámara. Para esto se debe reemplazar parte del material de suelo por paneles frigoríficos hasta cubrir toda el área de la cámara a edificar. Luego se debe trazar el cimiento de hormigón armado sea cual sea la cámara de temperatura negativa.¹²

Tras haber compactado el terreno mediante el aporte de materiales adecuados, suele establecerse una capa de hormigón de limpieza que al mismo tiempo permite nivelar la superficie y formar las pendientes de la cámara en caso necesario. Conviene que el acabado de esta capa de hormigón, que suele tener de 5 a 10 cm de espesor, sea lo más fino posible, ya que sobre ella se ejecutará la barrera antivapor; seguidamente se colocara el espesor del material aislante necesario, cumpliendo este material las características de densidad y resistencia a la compresión adecuadas a la carga que recibirá. Sobre el material aislante se ejecutara el piso definitivo el cual suele tener de 12-15 cm de espesor, utilizando para ello hormigón de la resistencia adecuada y, en otros casos, el acabado del suelo se realiza mediante pavimentos cerámicos impermeables.¹³

¹²Colaboradores de Wikipedia. *Cámara de refrigeración* [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2013 [fecha de consulta: 13 de julio del 2013]. Disponible en <http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=C%C3%A1mara_de_refrigeraci%C3%B3n&oldid=67817528>.

¹³PILLIGUA CHILÁN, Leonel Iván. "Diseño de un Software para calcular cámaras frigoríficas". Director: Francisco Andrade. Tesis Pregrado. Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2006.

✓ **Prevención de congelación del suelo**

En las cámaras de conservación de congelados y en las de congelación, la temperatura superficial exterior en el suelo puede ser negativa, pudiéndose producir la congelación del vapor de agua que haya condensado sobre esta superficie si no existe una circulación de aire que evacue el frío que atraviesa el aislante.

En estos casos, la ejecución de la solera de la cámara debe ir precedida de la construcción de un vacío sanitario que permita la circulación del aire, si la cámara no está construida en una planta alta de un edificio.

Para que el aire circule por el vacío sanitario evacuando las frigorías que atraviesan el aislante, de modo natural es preciso prever una pequeña diferencia de cotas entre el orificio de entrada y salida del aire en el vacío sanitario. En el caso de que no sea posible esta diferencia de cotas, se podrá recurrir a su ventilación mecánica.

Cuando sea posible construir el vacío sanitario, puede también recurrirse al calentamiento del suelo mediante la colocación de resistencias que trabajan a baja tensión, como en el caso de las puertas, manteniendo la temperatura del suelo por encima de 0°C o también puede recurrirse al calentamiento del suelo por otros sistemas como el que resulta de colocar tuberías embutidas en el mismo y por el que circula agua aglicolada caliente que puede obtenerse a través de un intercambiador de calor colocado en la sala de máquinas frigoríficas. Este último sistema supedita su función al funcionamiento de la instalación.

De entre los sistemas citados resulta evidente que la construcción de un vacío sanitario que permita la circulación del aire, es el sistema más recomendable por lo que en la práctica es el más usado.

El empleo de estos sistemas de calefacción del suelo evitará la congelación del agua y la rotura de los suelos.

El proceso de congelación de un suelo, si no se toman las medidas anteriores será más o menos largo, pero el frío que penetre hacia el suelo se ira acumulando, pudiendo congelar el vapor de agua condensado, levantar el suelo resquebrajándose la barrera antivapor, permitirá el ascenso del vapor de agua hacia la solera de hormigón y su posterior congelación, con lo que en poco tiempo podrá romperse incluso la solera de la cámara.

1.1.3.5. Puertas

Las puertas son elementos de las cámaras frigoríficas que se encuentran sometidas frecuentemente a un uso muy importante, por lo que sus características constructivas y mecánicas deberán cumplir las máximas exigencias.¹⁴

Figura 5. Puertas de cámaras



FUENTE: Diseño de un Software para calcular cámaras frigoríficas. Tesis de Pregrado.

Las puertas tienen que cumplir las siguientes cualidades:

¹⁴PILLIGUA CHILÁN, Leonel Iván. "Diseño de un Software para calcular cámaras frigoríficas". Director: Francisco Andrade. Tesis Pregrado. Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2006.

- Que sea isoterma, es decir, deberá estar aislada adecuadamente, utilizándose generalmente en la actualidad el poliuretano como material aislante. Que sea estanca al vapor de agua y de aire.
- Que sea resistente a golpes, a su repetida apertura y cierre, indeformable y de construcción ligera para facilitar su uso.
- Que sea de dimensiones y características adecuadas al tipo de cámaras, sistema de trabajo, elementos de transporte interno utilizados y de fácil mecanización para sus apertura y cierre.

✓ **Resistencias de calentamiento**

La utilización de resistencias de calentamiento es imprescindible en las puertas de las cámaras frigoríficas de temperatura negativa, ya que la junta entre la puerta y su marco son la zona más débil del aislamiento y por tanto por donde el vapor de agua puede penetrar, condensarse y congelarse, pudiendo impedir o dificultar la apertura posterior de la puerta. Para evitar la formación de hielo en esta junta se instalan resistencias en el marco que permiten mantener la temperatura en esta zona a un nivel igual o superior al ambiente exterior, con lo que se evitan las condensaciones de vapor de agua y su posterior congelación.

Con este objeto, se colocan junto a los marcos de las puertas transformadores de tensión que alimentan a baja tensión a las resistencias blindadas dispuestas en el marco, que a su vez disponen de una placa de latón superpuesta que transmite el calor de una forma uniforme. La temperatura que se alcanza en esta zona suele estar entre 30-40°C, permitiendo además de mantener la junta de caucho existente con una flexibilidad adecuada, lo que aumenta la estanqueidad de la junta.

1.1.3.6. Aislamientos

La producción de frío es tanto más costosa cuanto más baja es la temperatura a que se produce; por consiguiente, es indispensable economizar el frío producido protegiendo los recintos enfriados contra las entradas de calor, disponiendo sobre las paredes de estos un material que sea mal conductor del calor y que, por este hecho, limite el flujo térmico procedente del medio exterior a un valor compatible con las temperaturas interior y exterior, en función de la diferencia reinante entre estas mismas temperaturas.

Para que un material sea “aislante”, y por ello mal conductor de calor, hace falta que este material este conformado por un gran número de células cerradas conteniendo aire seco en reposo, u otros gases, con un coeficiente de conductividad muy bajo, como el anhídrido carbónico, el triclorotrifluoretano (R113) o el monofluorotriclorometano (R11). El aire existe naturalmente en las células de ciertos materiales como el corcho, o bien se encuentra aprisionado en el proceso de fabricación del material (fieltros, forros, fibras de vidrio); los otros gases (CO₂, R113, R11) se introducen en el momento de la expansión de los materiales (espumas sintéticas de poliuretano).

Estas consideraciones explican por qué todos los materiales aislantes son ligeros y también el hecho de que el poder aislante de un material varía en razón inversa a su peso específico. Las características aislantes de un material pueden modificarse con el tiempo en función de ciertos factores exteriores; así pues, si el material es higroscópico, la absorción del vapor de agua de la atmosfera servirá para aumentar su peso específico y disminuirá su poder aislante. Prácticamente importa, que los materiales aislantes no sean higroscópicos¹⁵

¹⁵P.J. Rapin y P. Jacquard . *Instalaciones Frigoríficas*. España, MARCOMBO S.A., 1997.

Características generales de los aislantes¹⁶

Los materiales aislantes deben poseer cierto número de cualidades, aunque, al igual que el fluido frigorífero ideal, el aislante ideal no existe. Este aislante debería, en efecto, poseer las cualidades enumeradas a continuación y ser:

- Ligero y no higroscópico, a fin de conservar constantes con el tiempo sus cualidades aislantes.
- Imputrescible
- Inodoro, a fin de que no comunique su olor a los productos almacenados.
- Neutro frente a otros materiales (madera, acero, albañilería, materias plásticas) empleados en la construcción de las cámaras frigoríficas o de los paneles aislantes prefabricados.
- Ininflamable e ignífugo.
- Plástico para resistir sin romperse las configuraciones de la obra, o para adaptarse a dichas formas.
- Resistentes a la presión (carga sobre el suelo de las cámaras frigoríficas).
- Resistente al apilamiento a fin de evitar “fallos” de aislamiento en la colocación de superpuesta del mismo.
- No servir de alimento a los roedores para evitar la formación de galerías, que tendrían por efecto reemplazar el aislante por aire húmedo, alterando las cualidades aislantes de la pared.
- Muy poco permeable al vapor de agua con objeto de evitar condensaciones o congelaciones de vapor de agua en el interior del aislante.

¹⁶Ibis

Ningún material está en posesión de todas estas cualidades, por lo que en la selección del material aislante buscaremos el que posea mayor cantidad de las mismas. Muchos son los materiales que poseen un número suficiente de estas cualidades y son, por consiguiente, aptos para su utilización como aislamiento térmico; sin embargo, de entre todos los aislamientos térmicos, todos no pueden convenir como aislantes frigoríficos, ya que muchos de ellos son higroscópicos.

Principales Aislamientos

Es imposible enumerar todos los materiales aislantes utilizados en la industria frigorífica ya que son, por una parte, muy numerosos y, por otra, los materiales empleados varían con el país y las consideraciones económicas locales, por lo que solo se examinarán algunos utilizados universalmente¹⁷.

Tabla 2. Principales Aislamientos

<i>Origen</i>	<i>Reino</i>	<i>Aislantes</i>
Inorgánico	Mineral	{ Kieselguhr, magnesio, amianto. Fibra de vidrio, lana mineral. Vidrio celular.
Orgánico contemporáneo	Vegetal	{ Corcho, algodón, kapok, fibra de madera, goma-espuma, crin vegetal.
	Animal	{ Fieltro, lana, seda, crin animal.
Orgánico geológico	Aislantes sintéticos	{ Poliestirenos expandidos. Cloruro de polivinilo expandido. Espumas de poliuretano.

Fuente: Instalaciones frigoríficas. P. J. Rapin & P. Jacquard. Tomo 2. MARCOMBO S.A. 1997

¹⁷P.J. Rapin y P. Jacquard . *Instalaciones Frigoríficas*. España, MARCOMBO S.A., 1997.

✓ **Corcho**

Ha sido casi el único material utilizado hasta la aparición alrededor de 1950 de las espumas sintéticas. Se emplea actualmente solo en aislamientos muy particulares, habida cuenta de su coste, por una parte, y al hecho de que, siendo su producción anual casi constante, no puede responder a las exigencias de una demanda considerable en aumento.

El corcho es, pues, el más antiguo de los materiales empleados en el aislamiento frigorífico. Sucesivamente paso de su empleo en forma de granos a las placas formadas con el aglomerado de estos granos por medio de aglomerantes orgánicos como la caseína o la gelatina; sin embargo, como sea que la humedad a que están expuestos los paneles disgregaba los aglomerantes y producía olores desagradables, en una nueva etapa productiva, los granos se aglomeraron con resina de hulla o carbón mineral.

El corcho se obtiene de la corteza de la encina, árbol que se encuentra en el occidente mediterráneo y en los países próximos de la ribera atlántica. Prácticamente es imputrescible merced a unos de sus componentes: la suberina¹⁸.

✓ **Fibra de vidrio**¹⁹

Muchas veces es llamada lana de vidrio, como su primer nombre lo indica claramente, un material fibroso. En este tipo de material, el aire no queda encerrado dentro de numerosas células pequeñas cerradas, sino que permanece aprisionado

¹⁸P.J. Rapin y P. Jacquard . *Instalaciones Frigoríficas*. España, MARCOMBO S.A., 1997.

¹⁹ Ibid.

entre las fibras entrelazadas del producto. Es un material muy ligero, del cual se puede variar la densidad en el momento de su fabricación, es imputrescible, no es higroscópico, no sirve de alimento a los roedores, es inodoro y neutro frente a otros materiales, pero, desafortunadamente, dentro de las cualidades utilizadas para la industria frigorífica, su resistencia a la rotura es baja para poder ser utilizado en el aislamiento del suelo de las cámaras frigoríficas. Es ignífugo e ininflamable.

La fibra de vidrio se obtiene de una mezcla de arena, carbonato de sodio, borato, dolomía y feldespato, para citar los componentes de una fusión anterior.

✓ **Poliestireno expandido**

El poliestireno expandido es un material aislante celular obtenido de un producto base que es un poliestireno expandido comercialmente denominado "Styropor" por la firma B.A.S.F.², que se presenta bajo la forma de perlas blancas obtenidas por la polimerización de las perlas de estireno.

La fabricación del poliestireno puede realizarse por moldeo en bloques por vía húmeda (vapor a baja presión) o por producción continua por vía seca.

1.1.3.6.1. Aislamiento de cerramientos verticales

Cuando los cerramientos verticales se proyectan de fábrica de ladrillo o de fábrica de bloques de hormigón prefabricados, resulta necesario, previo a la instalación del aislamiento, colocar una barrera antivapor sobre la cara interior del cerramiento. En este caso los materiales más usados son la espuma de poliuretano proyectada «in situ» y el poliestireno expandido. Más raramente suelen utilizarse paneles aislantes

prefabricados, en este caso, salvo que el cerramiento haya sido construido por imperativo estético y/o que los paneles aislantes se hayan proyectado como la mejor solución técnica a un determinado problema. Los cerramientos de fábrica son construidos con mortero de cemento para ser pintados a continuación. En ocasiones, y sobre todo por el interior suelen chaparse mediante piezas cerámicas, colocadas sobre fábrica de ladrillo, pueden fratasarse con mortero de cemento para su posterior pintado.

Los parámetros verticales, suelen estar protegidos por un bordillo o murete de hormigón armado en su base, con objeto de proteger el revestimiento del aislamiento y al propio aislamiento de posibles golpes de carretillas elevadoras o montacargas, al tiempo que facilitan la circulación del aire entre el producto y el parámetro vertical.

Figura 6. Cerramientos Verticales de la cámara



FUENTE: Diseño de un Software para calcular cámaras frigoríficas. Tesis de Pregrado.

1.1.4. Barrera antivapor

El vapor de agua se difunde desde los puntos de mayor presión de vapor a los de menor presión de vapor. En la práctica, además de calcular el espesor de aislante que evite la formación de condensaciones, para lo cual la temperatura en cualquier

punto de este deberá ser superior a la temperatura de rocío, se establecen barreras antivapor que se sitúan por la cara caliente del aislamiento, con lo que se pretende evitar el paso o difusión del vapor de agua hacia el interior del aislamiento, evitando así su condensación aun cuando se alcanzase la temperatura de rocío.

En el caso de cámaras frigoríficas la temperatura a ambos lados del aislamiento suele ser diferente, así como la humedad relativa. En estas la temperatura exterior suele ser mayor que la interior, pasando por tanto el flujo de calor desde el exterior hacia el interior, y de la misma manera las humedades relativas en ambos ambientes también serán diferentes.

En todos los casos donde la temperatura del aislante sea inferior a la temperatura de rocío, si no se establecen barreras antivapor, se producirán condensaciones; estas , además de los perjuicios que pueden acarrear al cerramiento y los de tipo económico, pueden provocar daños importantísimos cuando la temperatura alcanzada en el cerramiento donde se producen las condensaciones es negativa, ya que en este caso el vapor de agua puede congelarse, con el consiguiente aumento de volumen y rotura de los cerramientos.

Con el uso de las barreras antivapor se conseguirá:

- Mantener el valor de la conductividad térmica del material aislante.
- Evitar deterioros en el aislante y en la obra de albañilería que constituye el parámetro vertical u horizontal.
- Un menor consumo energético y mayor vida útil tanto de cerramientos y de materiales como del equipo frigorífico.

1.1.5. Válvulas de equilibrado de presiones

Algunos aspectos relacionados con el funcionamiento y manejo de las cámaras frigoríficas como son: puesta en marcha de las cámaras, descongelación de evaporadores, entradas importantes de mercancía, introducción rápida de gases, etc. Pueden provocar sobrepresiones o depresiones en el interior de las cámaras. Los daños provocados por este efecto pueden ser muy graves, por lo que debe preverse el equilibrado de presiones de manera automática entre el exterior y el interior del recinto frigorífico; con este objeto y sobre todo, en cámaras de temperatura negativa se instala elementos para el equilibrado de presiones, estando provistos de válvulas móviles estancadas, una de admisión y otra de escape, reguladas para actuar, generalmente, a partir de una presión de 10 mm c.d.a., permitiendo el equilibrado entre las presiones exterior e interior.

Cuando las cámaras son de temperatura negativa suelen estar provistas de un sistema de calentamiento para evitar la formación de hielo y facilitar su funcionamiento.

El principio de operación consiste en el paso de aire a través de la misma, entre el exterior y el interior de una cámara frigorífica. La válvula funciona mecánicamente gracias a dos membranas móviles estancadas, una de admisión y otra de escape.

Para conocer la cantidad de válvulas de equilibrio necesarias en un cuarto de enfriamiento, se siguen bajo la siguiente ecuación:

$$\text{Numero de válvulas} = \frac{1,3V}{T * (273 + t)}$$

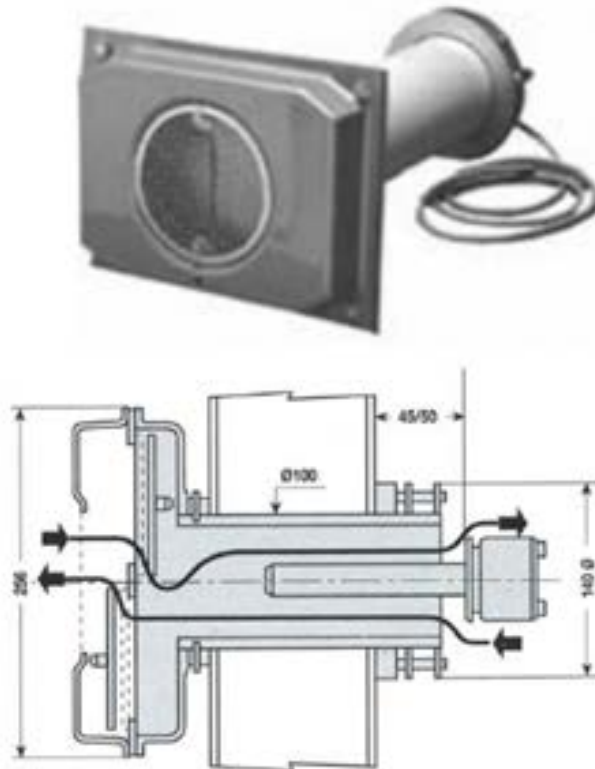
Donde:

V = Volumen

T = Variación de temperatura x minutos x °C

t = Temperatura en el interior de la cámara °C

Figura 7. Válvula equilibradora de presión



Fuente: <http://www.infracca.com>

1.1.6. Sistema de tuberías de desagüe

En una cámara para temperatura media, el agua se condensa en las aletas de vapor cuando el aire húmedo circula por el serpentín. El condensado se recoge en la bandeja de desagüe del evaporador, saliendo del compartimiento a través de un conducto de desagüe de cobre o PVC. El tamaño del conducto de desagüe tiene que ser como mínimo del mismo tamaño que la salida de la bandeja de desagüe, y debería tener una pendiente mínima de 4 cm por metro de recorrido de tubería. Debe instalarse un codo en P en el conducto de desagüe. El agua sella el codo de

modo que el aire caliente exterior a la cámara no puede subir por el desagüe e introducirse en el evaporador.

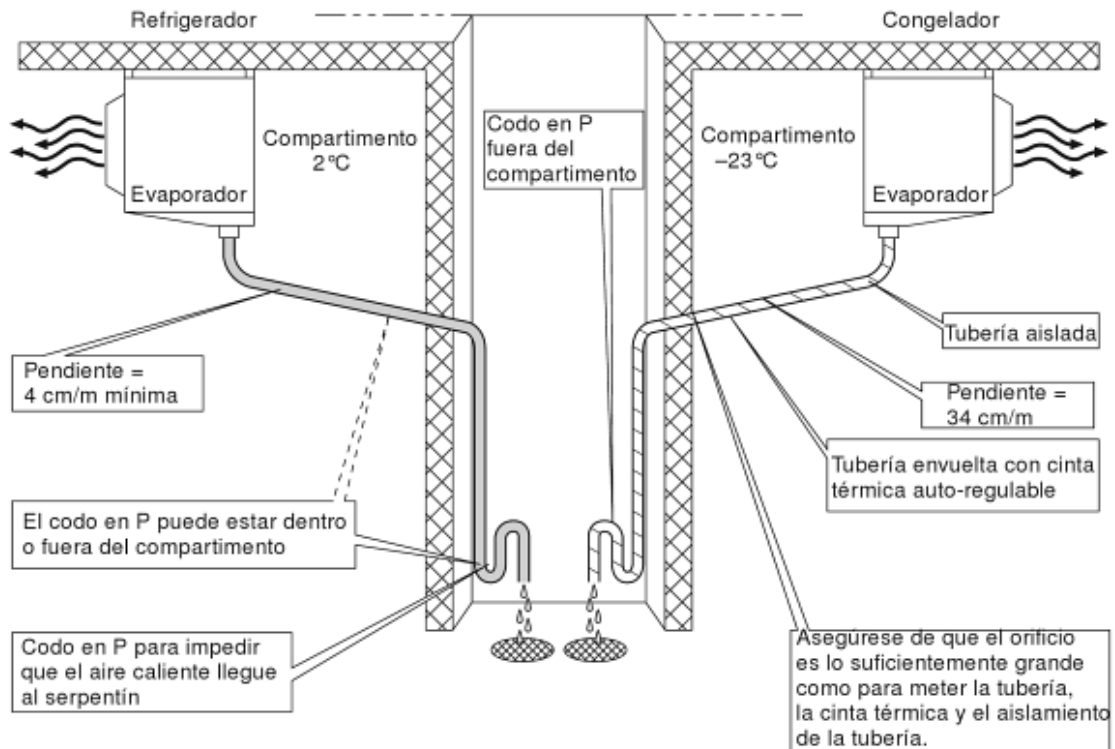
La humedad en una cámara de congelación se queda en el evaporador en forma de escarcha. Durante el ciclo de descongelación, el agua se recoge en la bandeja de desagüe del evaporador. Es importante que toda el agua se elimine rápidamente tanto de la bandeja como del conducto de desagüe durante la descongelación. Cualquier cantidad de agua que quede se volvería a congelar y bloquearía el desagüe o reventaría la tubería de desagüe.

Los requisitos para dimensionar los conductos de desagüe de las cámaras de congelación son los siguientes:

1. Pendiente del conducto de desagüe de 4cm por metro.
2. Utilice tubería de cobre, no de PVC.
3. Instale una cinta térmica auto-regulable en el conducto de desagüe.
4. Aísle el conducto de desagüe.
5. Instale el codo en P a la salida del compartimiento.

La pendiente tan abrupta ayuda a eliminar el condensado rápidamente durante el relativamente corto ciclo de descongelación. La tubería de cobre se calienta de manera uniforme mediante el calentador de lámina y aislamiento lo mantiene caliente. Cualquier cantidad de agua que quede en el conducto de desagüe después de la descongelación puede congelarse, incluso disponiendo de calentador. Por tanto, tiene que instalarse el codo en P en la salida del congelador.

Figura 8. Sistema de tuberías de Desagüe para cámaras



FUENTE: Refrigeración comercial para técnicos de aire acondicionado.

1.1.7. Detección de averías en cámaras

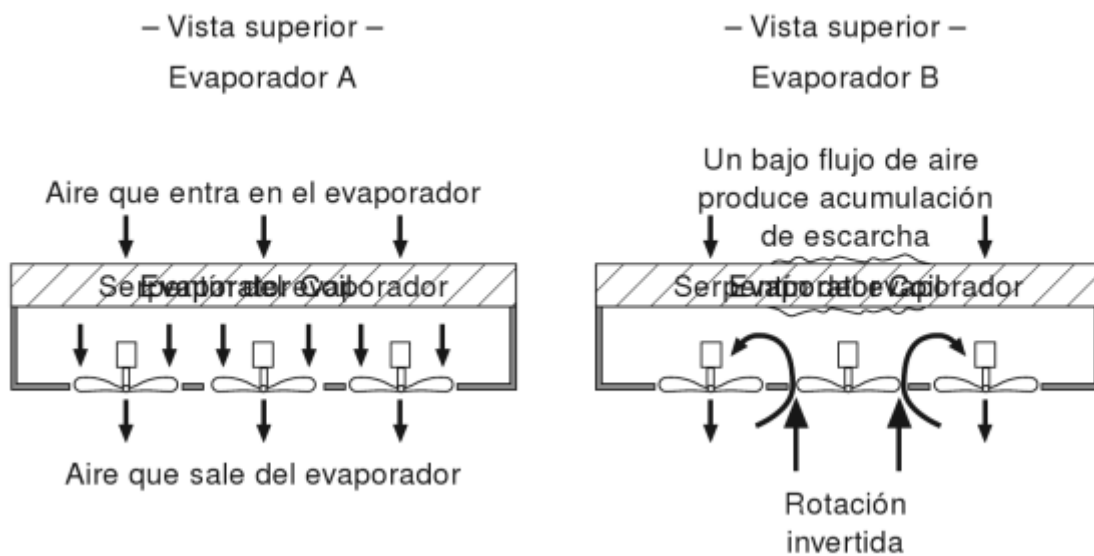
Existen muchos problemas en las cámaras que no están asociados con el refrigerante, el compresor o el dispositivo de control. Por tanto, este tema abordará problemas de las cámaras relacionados con la congelación del evaporador, la carga de productos y el desagüe. Comprobaremos que estos problemas a menudo están relacionados.

1.1.7.1. Problemas de flujo de aire en el evaporador

Si el evaporador está sucio, si la entrada de aire está bloqueada por productos o si el motor del ventilador es defectuoso, la temperatura del evaporador disminuirá y se

formara escarcha en exceso. Normalmente, el problema es bastante evidente, excepto en el caso de que el motor de un ventilador funcione mal en un evaporador con varios ventiladores. En este caso, el motor del ventilador separa pero las aletas del ventilador pueden girar. El aire se cortocircuita a través de la abertura del motor del ventilador defectuoso. El flujo de aire inverso hace girar a las aletas del ventilador, pero en el sentido opuesto al de los motores de ventilador que estén en buen estado.

Figura 9. El motor del ventilador del Evaporador B funciona mal



FUENTE: Refrigeración comercial para técnicos de aire acondicionado.

Por detrás del motor del ventilador defectuoso, se mueve muy poco aire a través del evaporador, por lo que se forma escarcha y hielo. La capa de hielo más gruesa normalmente se forma en la zona donde se encuentra el motor de ventilador defectuoso. Para localizar el componente defectuoso, desconecte los ventiladores y examínelos. A medida que se vayan parando, serán más fáciles ver el giro en sentido inverso de las aletas del ventilador cuyo motor es defectuoso.

1.1.7.2. Problemas de las puertas

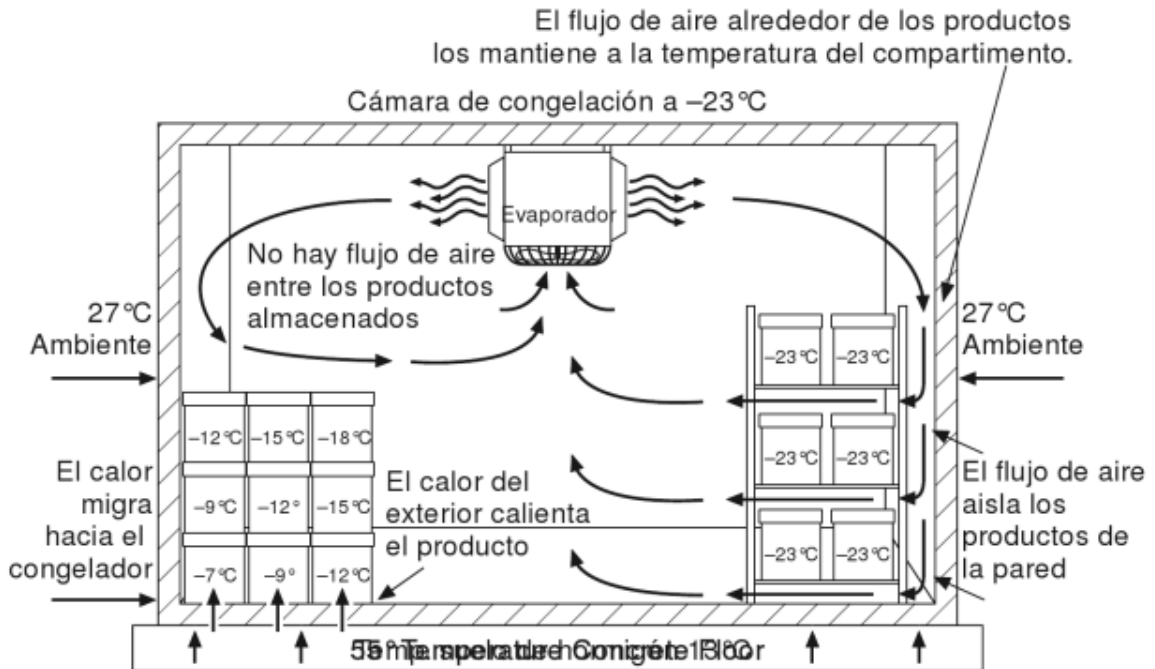
Si la puerta no se cierra o las juntas de estanqueidad son defectuosas, el aire caliente del exterior entrara en la cámara, añadiendo calor al compartimiento. La temperatura del compartimiento aumentara, la unidad de refrigeración estará en funcionamiento durante demasiado tiempo, el evaporador no se auto descongelará y finalmente el serpentín se congelara.

Suponiendo que inicialmente la puerta se instaló correctamente, existen varios remedios para los problemas de cierre de la puerta. Algunos de las soluciones incluyen la instalación de cierrapuertas, de cortinas de tiras de plástico en la entrada y la sustitución de juntas de estanqueidad desgastadas. En ocasiones, la solución más sencilla es la mejor: recuerde a las personas que utilizan la cámara que se asegure de haber cerrado la puerta después de salir del compartimiento.

1.1.7.3. Problemas de dimensionamiento del sistema o carga de productos inapropiada

Si el sistema de refrigeración se ha dimensionado para solo almacenamiento, pero la cámara se está utilizando como un compartimiento de producción, el compresor estará funcionando continuamente y el evaporador se congelara. Para determinar si este es el problema, compare el dimensionamiento del equipo con las recomendaciones de fábrica. Pregunte al cliente acerca de que cantidad diaria de productos introduce en la cámara cada día y a que temperatura están cuando los mete. Llevar a cabo algunas investigaciones de este tipo le ayudar a determinar si la unidad existente está siendo sometida a una carga de trabajo excesiva.

Figura 10. La importancia del flujo de aire alrededor de Productos congelados



FUENTE: Refrigeración comercial para técnicos de aire acondicionado.

En las cámaras de congelación, tan importante es la cantidad de productos que se carguen como el tipo de productos. En la figura anterior, la parte de la derecha del compartimiento tiene un buen flujo de aire alrededor de los productos, por lo que se mantienen congelados a la temperatura del compartimiento de -23°C . En la parte izquierda del compartimiento, los helados se han colocado sobre el suelo y contra la pared. El calor del exterior del compartimiento tiene un camino directo hacia los productos fríos que se encuentran en el interior del congelador. El aislamiento no detiene la transferencia de calor, solo hace que sea más lenta. Si no se deja un espacio para que circule el aire entre los productos y los paneles aislados, los productos terminarían calentándose. Los helados blandos es un indicativo de que están demasiado calientes y la formación de cristales en el producto indica que se descongeló y volvió a congelar.

1.1.7.4. Problemas de desagüe

Un desagüe taponado en un refrigerador hará que la bandeja se desborde y el cliente verá agua en el suelo. La reparación se puede llevar a cabo fácilmente destacando el conducto de desagüe.

En un congelador, el agua que se quede en el conducto de desagüe se convertirá en hielo y partirá la tubería. Además, la bandeja de desagüe se llenará de agua con hielo y producirá carámbanos que colgaran de la bandeja. El hielo en la bandeja de desagua también hará que se acumule hielo dentro del evaporador. Este hielo bloqueará el flujo de aire, lo que hará que la temperatura de la cámara suba y, finalmente, hará que los productos congelados contenidos en el compartimiento se descongelen. Esto no solo puede resultar costoso para el cliente en términos de pérdida de productos, sino que tendrá que pagar una factura de reparación por los servicios de un técnico que necesitara al menos cuatro horas además del costo de los materiales.

Las causas comunes de los problemas de desagüe de los congeladores son una instalación inapropiada del sistema de desagüe y el fallo de la cinta térmica. Se recomienda el uso de una cinta térmica auto-regulable porque tiene la capacidad de añadir más calor cuando la tubería está muy fría y no se quema tan fácilmente como las cintas térmicas estándar. Aunque el costo de las cintas auto-regulables es del orden de 5 a 10 veces mayor que el de las estándar, la diferencia no es importante si se compara con los costos de la reparación y la pérdida de productos que produce un conducto de desagüe congelado.

1.1.7.5. Problemas de descongelación del congelador

El número de descongelación del congelador por día depende de las condiciones ambientales y de cómo se utilice la cámara. Dependiendo del clima, una cámara de congelación puede necesitar solo una o dos descongelaciones por día (cada 24 horas). O hasta cuatro. El factor principal que determina el número de descongelaciones es la cantidad de humedad del aire.

El tiempo necesario de descongelaciones es muy importante, ya que si se pasa de descongelación el cuarto no se enfría a la temperatura que se desea y empieza hacer unas oscilaciones no recomendadas. Entonces hay que buscar el punto exacto del tiempo y del número de descongelaciones, por ejemplo para el caso específico del frigorífico metropolitano de Bucaramanga tiene 3 descongelaciones de 40 minutos, como se dijo anteriormente eso depende de la humedad que se maneja en el ambiente.

1.1.8. Aspectos relacionados con el diseño y la seguridad

El reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas (RSIF) hace referencia a diferentes aspectos relacionados con el diseño y la seguridad, que son de obligado cumplimiento para todas las instalaciones.

Entre los más importantes, destacar:

- Carga máxima de refrigerante.
- Sala de máquinas. Diseño y construcción.
- Cámara frigorífica. Diseño y construcción.
- Medidas de prevención y protección del personal.

1.1.8.1. Carga máxima de refrigerante

Los refrigerantes se denominarán o expresarán por su fórmula o por su denominación química, o, si procede, por su denominación simbólica alfanumérica. Atendiendo a criterios de seguridad (toxicidad e inflamabilidad), los refrigerantes se clasifican en los siguientes grupos simplificados que se desarrollan en la Instrucción técnica complementaria IF-02:

1. Grupo de alta seguridad (L1): Refrigerantes no inflamables y de acción tóxica ligera o nula.
2. Grupo de media seguridad (L2): Refrigerantes de acción tóxica o corrosiva o inflamable o explosivos mezclados con aire en un porcentaje en volumen igual o superior a 3,5 por cien.
3. Grupo de baja seguridad (L3): Refrigerantes inflamables o explosivos mezclados con aire en un porcentaje en volumen inferior al 3,5 por cien.

✓ Clasificación de los sistemas de refrigeración

Los sistemas de refrigeración se clasifican, de acuerdo con el método de extracción de calor (enfriamiento) o cesión de calor (calentamiento) a la atmósfera o al medio a tratar, en los dos siguientes grupos simplificados que se desarrollan en la Instrucción técnica complementaria IF-03:

- Sistemas directos: cuando el evaporador o el condensador del sistema de refrigeración está en contacto directo con el medio que se enfría o calienta.
- Sistemas indirectos: cuando el evaporador o el condensador del sistema de refrigeración, situado fuera del local en donde se extrae o cede calor al medio

a tratar, enfría o calienta un fluido secundario que se hace circular por unos intercambiadores para enfriar o calentar el medio citado.

Atendiendo a criterios de seguridad, los sistemas de refrigeración se clasifican en los siguientes tipos, según cuál sea su emplazamiento:

Tipo 1: Sistema de refrigeración instalado en un espacio ocupado por personas, no considerado como una sala de máquinas específica.

Tipo 2: Sistema de refrigeración con el sector de alta presión instalado en una sala de máquinas específica o al aire libre.

Tipo 3: Sistema de refrigeración con todas las partes que contienen refrigerante situado en una sala de máquinas específica o al aire libre.

La carga máxima admisible de refrigerante de una instalación frigorífica será determinada en función de su inflamabilidad y de su toxicidad de acuerdo con lo expuesto en la IF-02 y su apéndice 1 (tabla A), categoría del local, tipo de emplazamiento y de sistema.

Los límites prácticos para los refrigerantes (apéndice 1, tabla A de la IF-02), están basados en el efecto de un escape súbito de refrigerante con un tiempo de exposición breve. No se refieren a los límites de seguridad para una exposición regular diaria. Los límites prácticos serán utilizados para determinar la carga máxima admisible en función de la categoría del local. Tal y como se refleja en la tabla A del apéndice 1 de la IF-02.

1.1.8.2. Sala de máquinas. Diseño y construcción.

La instrucción MI-IF 07 hace referencia a los criterios y requisitos de la sala de máquinas para plantas de refrigeración.

Aspectos generales.

Dentro de los aspectos generales, se pueden destacar:

1. Parada del sistema: Fuera de la sala de máquinas y cerca de la puerta de acceso se debe instalar un interruptor que permita la parada al momento del sistema.
2. Ventilación: Es de obligado cumplimiento en la sala de máquinas, instalar un sistema de ventilación natural o forzado.
3. Extintores portátiles: La sala de máquinas deberá disponer de un mínimo de 2 extintores de polvo polivalentes (ABC), situados en la puerta y en el extremo opuesto. Si se utiliza refrigerantes inflamables, se debe colocar extintores en las proximidades de los accesos a la cámara y locales que contengan componentes frigoríficos.
4. Señalización de advertencia: En la entrada a la sala de máquinas deberemos colocar señales con la prohibición del acceso a personal no autorizado, prohibición de fumar y manipular el sistema.
5. Dimensiones y accesibilidad: Deberán de tener las dimensiones necesarias que nos permitan realizar las diferentes operaciones de mantenimiento y control.
6. Puertas: Deberán abrirse de dentro hacia fuera (sistema antipánico) y un número suficiente que nos permita una rápida evacuación.
7. Cerramientos: Serán de unas características que cumplan con el reglamento de incendios y las ordenanzas municipales de niveles de ruido.

1.1.8.3. Cámara frigorífica. Diseño y construcción.

Las condiciones de diseño y construcción para las cámaras frigoríficas son desarrolladas en la IF-11.

1. Flujo máximo permitido: Para garantizar el mínimo impacto medioambiental, la densidad de flujo para cámaras con temperatura negativa, no será nunca superior a 6W/m².
2. Dimensiones del aislante: Debe evitar la formación de condensaciones superficiales no esporádicas según queda establecido en los apartados H.2.1 y H.2.3 del código técnico de la edificación en el documento básico de ahorro energético.
3. Hacha de bombero: al lado de toda puerta de cámara frigorífica con temperatura negativa, debe haber ubicado un hacha de bombero con mango del tipo sanitario y de longitud mínima de 800mm.
4. Dispositivo de calentamiento de puertas: Cuando la temperatura de la cámara es inferior a -5°C, las puertas deben incorporar un dispositivo de calentamiento para evitar el bloqueo de la puerta causado por la formación de hielo.
5. Sistema de equilibrado de presiones: Todas las cámaras con volumen superior a 20m³ dispondrán de un sistema de válvulas de equilibrado de presiones y debe ser justificada su elección.
6. Dispositivo de regulación: Los dispositivos de regulación y control serán situados, siempre que sea posible, en el exterior de la cámara.

1.1.8.4. Medidas de prevención y protección del personal.

Las medidas de contingencia determinadas para la prevención de accidentes laborales divididos en dos grupos, las de acción correctiva para cuando se produce el accidente y la acción preventiva identificada para evitar que se produzcan accidentes similares en el futuro. Las medidas correctivas y preventivas son indicadas en la tabla siguiente.

Tabla 3. Medidas de Contingencia contra Accidentes

Medidas de contingencia contra accidentes			
Accidente	Descripción	Medidas Correctivas	Medidas preventivas
Golpe por caídas.	Resbalones por causa del hielo en el suelo. Correr o acciones indebidas en el área de trabajo.	Revisar a la persona afectada sin moverlo bruscamente. Notificar a un centro médico en caso de ser un golpe muy fuerte. Señalizar el área en mal estado.	Mejorar el funcionamiento de los equipos de control de temperatura. Quitar el hielo del piso de forma periódica. Evitar correr o jugar en el área de trabajo.
Golpe en la cabeza con mercadería.	Por mala colocación de la mercadería en los racks o no asegurarla con los materiales necesarios.	Revisar la cabeza de la personal dañada. Realizar preguntas al afectado. Notificar a un centro médico si es un golpe muy fuerte. Revisar que no se encuentra más mercadería riesgosa.	Ubicar adecuadamente el producto en los racks y asegurar la mercadería con cinta adhesiva y con tarimas en buen estado. Proporcionarles equipo de seguridad a los trabajadores para

			la cabeza.
Golpe en las manos y/o pies.	Por mala colocación de la mercadería en los racks o no asegurarla con los materiales necesarios.	Revisar las manos y/o pies del personal afectado. Curarle lo mejor posible las heridas. Notificar a un centro médico en caso de ser un accidente muy fuerte. Revisar que no se encuentre más mercadería riesgosa.	Ubicar adecuadamente el producto en los racks y asegurar la mercadería con cinta adhesiva y con tarimas en buen estado. Proporcionarles a los trabajadores equipo de seguridad para manos y pies.
Quemadura por frío en el manejo de Mercadería o racks.	Tocar mercadería o racks que se encuentran a temperaturas bajas sin protección.	Revisar las manos de la persona afectada. Vendarle el área afectada. En caso de ser una quemadura muy fuerte llevarlo a un centro médico. Identificar el área de riesgo.	No manipular mercadería sin equipo de protección para manos. No tocar los equipos de almacenaje sin equipo de protección.
Golpe en distintas partes del cuerpo por caída de hielo.	Golpes por caída de hielo de los evaporadores y racks del cuarto frío al desprenderse por cambio de temperatura	Revisar a la persona afectada. Realizar preguntas a la persona afectada. Notificar a un centro médico en caso de ser un golpe muy fuerte. Identificar el área de	Evitar mal funcionamiento de los equipos de control de temperatura de los cuartos fríos o limpiar los evaporadores de forma periódica. Revisar periódicamente los

		riesgo.	equipos de control de temperatura.
Daño de huesos por caída de una carga con mucho peso.	Dañarse un hueso por sufrir la caída de mercadería muy pesada a una altura considerable.	Revisar a la persona afectada, no moverlo bruscamente. Notificar al centro médico inmediatamente. Revisar que la mercadería no esté ubicada en un área riesgosa.	Ubicar adecuadamente el producto en los racks y asegurar la mercadería con cinta adhesiva y con tarimas en buen estado. Reubicar la mercadería dependiendo del peso y condiciones de riesgo. Revisar sus condiciones periódicamente.
Machucón de manos o pies con las puertas de los cuartos fríos.	Por mal movimiento y mala lubricación de las puertas de los cuartos fríos pueden sufrir machucones en las manos o pies.	Revisar a la persona afectada. Realizar medidas de primeros auxilios y caso de ser un machucón grave notificar al centro médico.	Tener cuidado al abrir y cerrar las puertas de los cuartos fríos, verificando que no se encuentren personas en el camino y darle mantenimiento a las puertas para evitar problemas futuros. Colocar notas de identificación de riesgo.
Golpe en distintas partes	Golpes por chocar contra partes del	Revisar a la persona afectada.	Darle mantenimiento de forma periódica y

del cuerpo por daños en el cuarto frío.	cuarto frío por daño a este por no darle mantenimiento o mal uso.	Realizar medidas de primeros auxilios. Notificar al centro médico en caso de ser un golpe muy grave.	señalizar la ubicación de daño para no afectar a las personas. Realizar visitas periódicas para ver las condiciones del cuarto frío.
Caída por subirse sobre los racks sin equipo de seguridad.	Caerse de los racks por subirse en ellos para acomodar la mercadería mal ubicada que es necesaria por solicitud del cliente.	Revisar a la persona afectada. No moverla bruscamente. Notificar al centro médico de forma inmediata.	Evitar subirse a los racks, sino tratar de acomodarlos con el montacargas, y en caso de subirse para mantenimiento realizarlo con equipo de protección y bajo supervisión.
Caída por mercadería mal ubicada en el paso peatonal.	Golpes por caídas al tropezar con mercadería no ubicada en los racks y mal ubicada en los corredores del cuarto frío.	Revisar a la persona afectada. Aplicar medidas de primeros auxilios. Notificar al centro médico en caso de ser un golpe grave.	Evitar colocar mercadería en el paso peatonal del cuarto frío y si es necesario colocarla ubicarla pegada a las paredes y fuera de los corredores. Colocar letreros o cordones que identifique el riesgo.

Fuente: manual de procedimientos para la logística en cuartos fríos.

1.1.9. Equipo de protección para el personal de cuartos fríos.

Los equipos de seguridad para los trabajadores tienen como principal función la de protegerlos de las inclemencias de su ambiente de trabajo en particular el frío excesivo, deben proporcionar comodidad al realizar sus actividades laborales. El equipo de protección de los trabajadores es presentado en la siguiente tabla.

Tabla 4.Equipo de Protección de Personal

Equipo de protección personal		
Equipo	Especificación técnica	Forma de protección
Gorro	Material: lana y cuerina	Mantener caliente la parte superior de la cabeza. Facilita la visualización del trabajador.
Pasamontañas	Material: tela	Mantener caliente toda la cabeza del trabajador. Dificulta un poco la visualización ayuda a la respiración.
Anteojos	Material: plástico	Proteger los ojos del frío para evitar dolores y poca visibilidad.
Mascarilla	Material: plástico	Evitar que ingrese mucho aire frío por la boca y dañe los pulmones.
Orejas de tela	Material: algodón y Tela	Evitar enfriamiento de los oídos, sin evitar que el trabajador escuche de forma adecuada.

Chumpa enguantada	Material: tela, lana y Cuerina	Evitar recibir frío por la espalda y pecho además de proteger los brazos sin incomodar al trabajador. Color oscuro.
Camisa de lona	Material: lona	Evitar recibir frío por la espalda y pecho. Da comodidad al trabajador.
Pantalón de lona	Material: lona	Protege las piernas del trabajador y le da comodidad en sus actividades.
Pantalón enguantado	Material: tela, algodón y cuerina	Evita recibir frío por las piernas del trabajador y le da comodidad en su trabajo.
Faja de soporte de la espalda	Material: cuero	Evita dolor en la espalda y cintura al cargar peso.
Guantes	Material: lana	Evitar quemaduras por frío y cortes en las manos.
Calzado de seguridad	Material: hule y cuero	Evita frío y golpes en los pies y resbalones.

Fuente: Manual de procedimientos para la logística en cuartos fríos.

1.1.10. Jornada máxima del personal de cuartos fríos.

La jornada máxima del personal que trabaje en cámaras frigoríficas y de congelación será la siguiente:

- La norma, en cámaras de 0°C hasta -5°C, debiendo concederse un descanso de recuperación de 10 minutos cada 3 horas de trabajo ininterrumpido en el interior de las cámaras.
- En las cámaras de más de -5°C hasta -18°C, la permanencia máxima en el interior de las mismas será de 6 horas, debiendo concederse un descanso de recuperación de 15 minutos por cada hora de trabajo ininterrumpido en el interior de las cámaras.
- En las cámaras de -18°C o más, con una oscilación de más o menos tres, la permanencia máxima en el interior de las mismas será de 6 horas, debiendo concederse un descanso de recuperación de 15 minutos cada 45 minutos de trabajo ininterrumpido en el interior de las cámaras

La diferencia entre la jornada normal y las seis horas de permanencia máxima de los dos últimos supuestos podrá completarse con trabajo realizado en el exterior de las mismas.

1.2. SISTEMA FRIGORIFICO O DE REFRIGERACION

1.2.1. Parámetros de diseño

El diseño de estos sistemas frigoríficos se define, principalmente, en función de los siguientes parámetros:

- Temperaturas de operación: (Temperaturas de evaporación y condensación)
- Capacidad del sistema, generalmente denominada en KW definida en función de la carga térmica.
- Refrigerantes amigables ambientalmente y de amplio efecto refrigerante.
- Costos operativos del sistema²⁰.

1.2.2. Sistema de refrigeración conforme a zonas de frío

Los sistemas de refrigeración implementados tanto en plantas frigoríficas como en refrigeradores domésticos pueden catalogarse primeramente conforme las denominadas "zonas de frío" o temperaturas de frío para las cuales estos estén diseñados²¹.

✓ Una zona de frío

Es el clásico arreglo en el cual el sistema opera bajo una sola temperatura de régimen de frío, es decir, entre una temperatura de condensación y una sola temperatura de evaporación del refrigerante.

²⁰Colaboradores de Wikipedia. *Sistema frigorífico* [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2013 [fecha de consulta: 14 de julio del 2013]. Disponible en <http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Sistema_frigor%C3%ADfico&oldid=62810175>.

²¹Ibid.

✓ **Dos o más zonas de frío**

Es aquel sistema en el cual el refrigerante (condensado a una sola temperatura) se evapora a distintos valores en función de distintos procesos. A modo de ejemplo, y para una planta frigorífica, una cámara de congelado y una cámara de productos frescos requieren distintas temperaturas de régimen y, por lo tanto, distintas temperaturas de evaporación del refrigerante.

1.2.3. Sistema de refrigeración conforme la alimentación de refrigerante²²

✓ **Expansión seca (DX)**

Se les denomina sistemas de expansión seca, (o directa) a los sistemas frigoríficos en los cuales la evaporación del refrigerante se lleva a cabo a través de su recorrido por el evaporador, encontrándose en estado de mezcla en un punto intermedio de este. Estos sistemas, si bien son los más comunes, suelen ser de menor capacidad que los de recirculación de líquido.

✓ **Con recirculación de líquido**

Lo que diferencia a los sistemas de recirculación de líquido a los de expansión directa es que el flujo másico de líquido a los evaporadores supera con creces al flujo de vapor producido en el evaporador. Es común el apelativo de

²²Colaboradores de Wikipedia. *Sistema frigorífico* [en línea]. Wikipedia, La enciclopedia libre, 2013 [fecha de consulta: 14 de julio del 2013]. Disponible en <http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Sistema_frigor%C3%ADfico&oldid=62810175>.

“sobrealimentación de líquido” para los evaporadores de estos sistemas. Estos sistemas son preferentemente utilizados en aplicaciones industriales, con un número considerable de evaporadores y operando a baja temperatura.

1.2.4. Principios básicos de la generación de frío

1.2.4.1. Instalación frigorífica de compresión²³

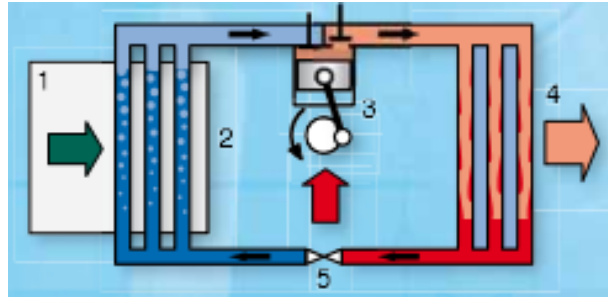
La instalación frigorífica de compresión es la más frecuentemente utilizada para la generación de frío. En este caso, se aprovecha el efecto de la gran absorción de calor al evaporar un líquido. Cuando el vapor se condensa, el calor se vuelve a desprender. Mediante diversas presiones en la evaporación y la condensación, se pueden ajustar los niveles de temperatura para que se produzca un transporte de calor del lado frío al caliente.

Como en este caso el refrigerante circula en un ciclo cerrado, se denomina ciclo frigorífico. En lugar del compresor de émbolo mostrado, también se pueden utilizar compresores por chorro de vapor, turbocompresores, compresores de tornillo sinfín o compresores helicoidales.

Como refrigerantes se utilizan líquidos de fácil ebullición como hidrofluorocarburos (HFC), propano, CO₂ o NH₃.

²³Colaboradores de GuntHamburg. *Principios de la Generación en frío* [en línea]. GuntHamburg, 2013 [fecha de consulta: 13 de Mayo del 2013]. Disponible en <http://www.gunt.de/download/principles%20of%20cold%20production_spanish.pdf>

Figura 11. Instalación Frigorífica de Compresión



Una instalación frigorífica de compresión básica consta de un evaporador 2 en un espacio a refrigerar 1, un compresor 3, un condensador 4 y un elemento de expansión 5.

Fuente: Principios de la Generación en frío, Gunt Hamburg, en http://www.gunt.de/download/principles%20of%20cold%20production_spanish.pdf

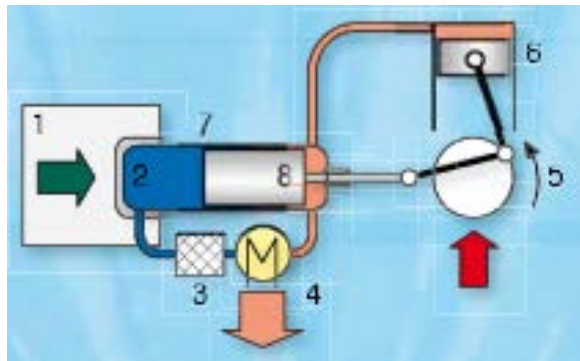
1.2.4.2. Instalación frigorífica de gas frío²⁴

La instalación frigorífica de gas frío según el principio de Stirling se utiliza para generar temperaturas extremadamente bajas. Se aplica en casos como la licuefacción del aire o la refrigeración de cámaras infrarrojas.

La instalación frigorífica de gas frío corresponde al conocido motor Stirling, sin embargo, el sentido de giro es inverso. Así se invierte el sentido del recorrido del ciclo y de la máquina motriz se produce una máquina de trabajo que actúa como bomba de calor.

²⁴Colaboradores de GuntHamburg. *Principios de la Generación en frío* [en línea]. GuntHamburg, 2013 [fecha de consulta: 13 de Mayo del 2013]. Disponible en http://www.gunt.de/download/principles%20of%20cold%20production_spanish.pdf

Figura 12. Instalación Frigorífica de Gas Frío



La instalación frigorífica de gas frío consta de un cilindro de trabajo 6 y un cilindro de desplazamiento 7. En el cilindro de trabajo se comprime y expande alternativamente el gas útil (normalmente helio). El gas caliente comprimido desprende su calor en el cambiador de calor. 4. Con la expansión, el gas se enfría y absorbe calor en el lado frío 2 del cilindro de desplazamiento del espacio a refrigerar 1. Los émbolos de desplazamiento 8 y de trabajo 6 se mueven respectivamente desfasados mediante un mecanismo de manivela 5. El recuperador de calor 3 aumenta el rendimiento.

Fuente: Principios de la Generación en frío, Gunt Hamburg, en
<http://www.gunt.de/download/principles%20of%20cold%20production_spanish.pdf>

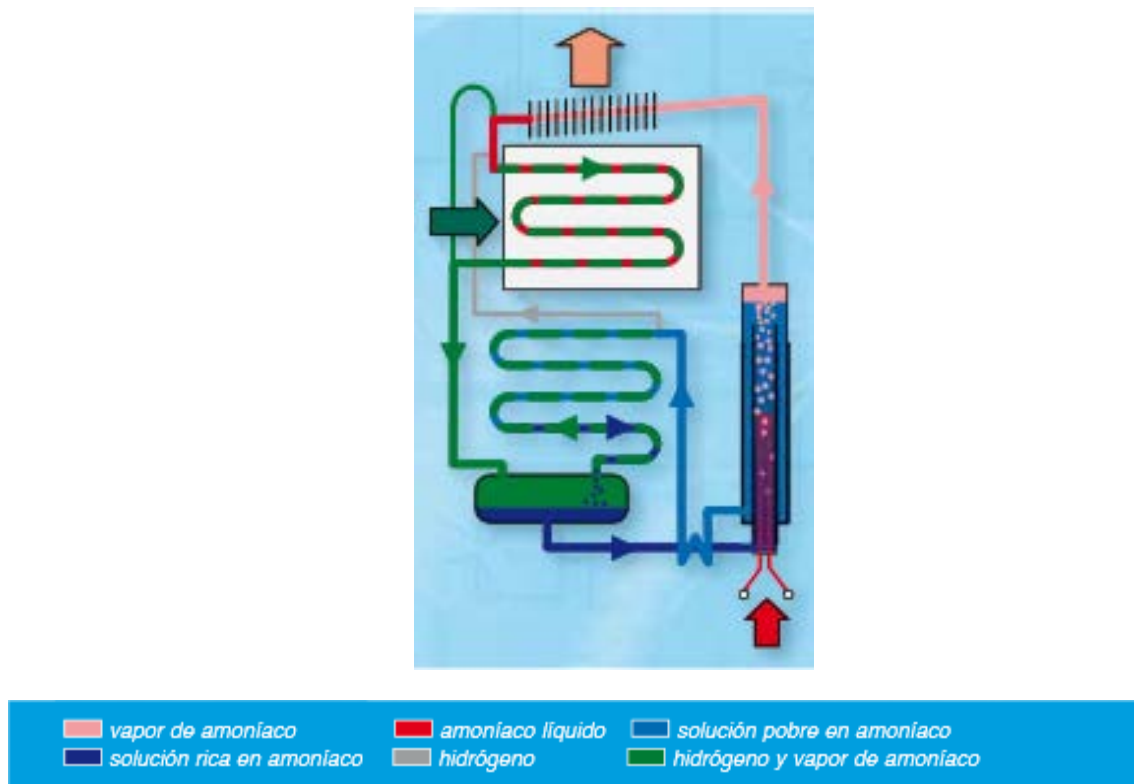
1.2.4.3. Instalación frigorífica de absorción²⁵

En una instalación de absorción se utiliza amoníaco (NH_3) como refrigerante. Al igual que en una instalación frigorífica de compresión, el amoníaco líquido se evapora en un evaporador absorbiendo calor. El amoníaco en forma de vapor se disuelve después en agua en un absorbedor. La solución de amoníaco se calienta para que salga amoníaco en forma de vapor. El vapor de amoníaco se condensa en un condensador para obtener de nuevo amoníaco líquido.

²⁵Colaboradores de Gunt Hamburg. *Principios de la Generación en frío* [en línea]. Gunt Hamburg, 2013 [fecha de consulta: 13 de Mayo del 2013]. Disponible en
<http://www.gunt.de/download/principles%20of%20cold%20production_spanish.pdf>

Para garantizar una diferencia de temperatura entre la evaporación y la condensación debe darse una diferencia de presión. Esta se consigue mediante una bomba para la solución o mediante un gas auxiliar (hidrógeno H_2). Si se utiliza un gas auxiliar, se puede prescindir de la bomba. De este modo, la máquina frigorífica no posee componentes móviles. La alimentación de energía motriz se realiza de forma totalmente térmica a través del hervidor. El calentamiento del hervidor se lleva a cabo eléctricamente o con gas. También es posible utilizar calor residual o energía solar.²⁶

Figura 13. Instalación Frigorífica de Absorción



Fuente: Principios de la Generación en frío, Gunt Hamburg, en
http://www.gunt.de/download/principles%20of%20cold%20production_spanish.pdf

²⁶Colaboradores de Gunt Hamburg. *Principios de la Generación en frío* [en línea]. Gunt Hamburg, 2013 [fecha de consulta: 13 de Mayo del 2013]. Disponible en
http://www.gunt.de/download/principles%20of%20cold%20production_spanish.pdf

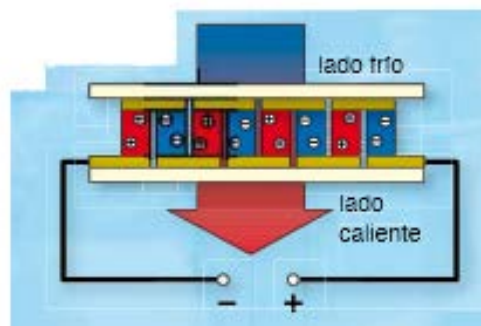
1.2.4.4. Instalación frigorífica termoeléctrica²⁷

Las instalaciones frigoríficas termoeléctricas funcionan con el efecto Peltier. El modo de funcionamiento corresponde a la inversión de la conocida función de la medición de temperatura del elemento térmico. Con el elemento Peltier se utiliza un material especial semiconductor.

Se pueden lograr temperaturas muy bajas, sin embargo, el rendimiento se reduce notablemente con una diferencia de temperatura ascendente.

Los elementos Peltier funcionan con corriente continua; la dirección de la corriente indica la dirección del transporte de calor. Los elementos Peltier pueden tanto refrigerar como calentar, se pueden controlar fácilmente y no disponen de componentes móviles o rellenos líquidos.

Figura 14. Instalación Frigorífica Termo Eléctrica



Fuente: Principios de la Generación en frío, Gunt Hamburg, en
<http://www.gunt.de/download/principles%20of%20cold%20production_spanish.pdf>

²⁷Ibid.

1.2.4.5. Generador de frío vortex²⁸

El generador de frío vortex o de tubo vertical pertenece a las máquinas frigoríficas excepcionales. A partir de un flujo de aire comprimido se crea, de la temperatura ambiente, un flujo de aire frío y otra de aire caliente. El aire comprimido entra tangencialmente en una cámara de turbulencia y aquí se desplaza en una rotación rápida. En el centro de la turbulencia se forma un flujo de aire frío, mientras que la capa externa de la turbulencia se calienta. El aire frío se extrae en el medio y puede servir para la refrigeración.

La ventaja de esta máquina frigorífica consiste en que se monta muy fácilmente, no posee componentes móviles y no requiere de combustibles nocivos ni alimentación eléctrica. El inconveniente, sin embargo, es su bajo rendimiento.

Figura 15. Generador de Frío Vortex



Fuente: Principios de la Generación en frío, Gunt Hamburg, en
<http://www.gunt.de/download/principles%20of%20cold%20production_spanish.pdf>

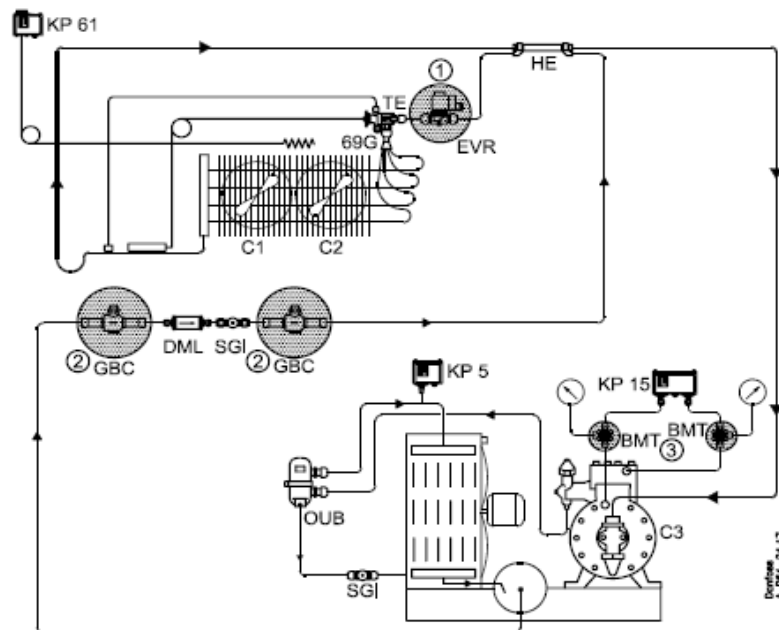
²⁸Ibid.

1.2.5. Ejemplos de Refrigeración Comercial e Industrial

Los catálogos ofrecidos por la empresa Danfoss contienen información de buenas prácticas y recomendaciones que la organización hace sobre sus productos y contienen diferentes ejemplos de conexiones mostrando sus respectivos diagramas de conexión eléctrica y relación de las diferentes válvulas y equipos necesarios para el ciclo de refrigeración.

- ✓ **Instalación de refrigeración para cámara fría de gran tamaño (Refrigeración comercial)²⁹**

Figura 16. Diagrama de Instalación de Refrigeración para cámara Fría de gran tamaño



Instalación de refrigeración completa para cámara fría de gran capacidad con temperatura superior al punto de congelación

²⁹ *Controles Automáticos para Sistemas de Refrigeración Industriales.* México, Danfoss, RA Marketing/MWA .2007

En el diagrama anterior se observa que se encuentra instalada una válvula de solenoide EVR (1) con el fin de asegurar un cierre eficaz de la tubería de líquido durante los periodos de parada del compresor pues existe la posibilidad de que la temperatura de bulbo suba mas rápido que la temperatura de evaporación y de lugar a la abertura de la válvula de expansión termostática. Es importante la protección del evaporador, evitando su sobrecarga durante los periodos para el compresor, esto se puede solucionar cuando en el momento de parar el compresor, se cierre al mismo tiempo la válvula solenoide.

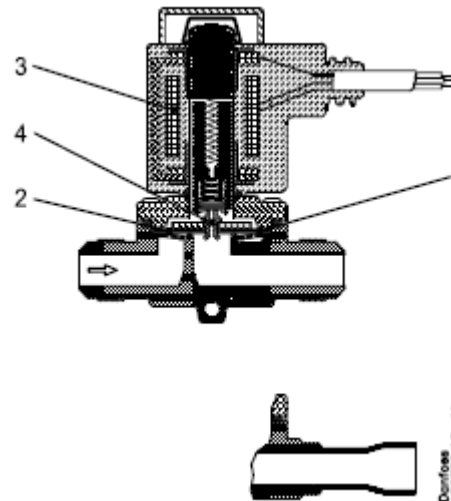
También se observa que la línea de líquido se encuentra equipada con válvulas de cierre manual tipo GBC (2) o BML con el fin de facilitar la sustitución del filtro secador.

Por parte del compresor se presentan unos manómetros a los lados donde se obtienen las lecturas de presión alta y baja respectivamente. En caso de ser necesario retirar los manómetros, estos pueden ser desconectados utilizando las válvulas de tres vías tipo BMT (3)

Antes de continuar para el fabricante Danfoss es importante conocer el funcionamiento de dos válvulas que son necesarias para el correcto funcionamiento del sistema de refrigeración, por esta razón se realizó un resumen de la información que Danfoss ofrece.

✓ Válvula de solenoide³⁰

Figura 17. Válvula Solenoide tipo EVR



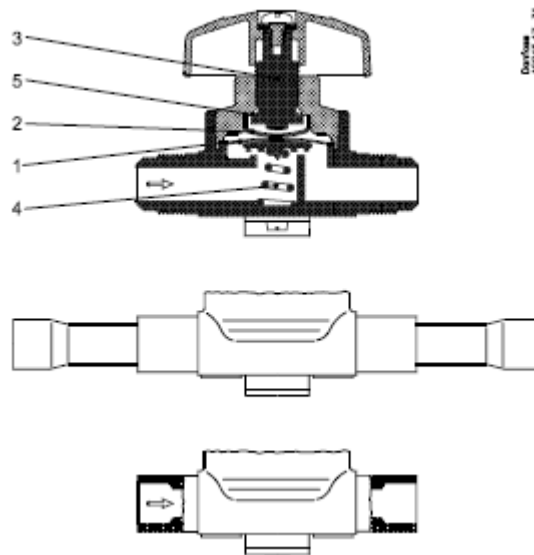
Fuente: Controles Automáticos para Sistemas de Refrigeración Industriales. Danfoss

La válvula solenoide tipo EVR es una válvula de cierre electromagnética servo-controlada. Se iguala la presión que es aplicada al lado superior del diafragma (1) y la presión de entrada de la válvula aplicada al lado inferior por medio de los orificios de igualación (2). Cuando la corriente energiza la bobina (3) el orificio piloto (4) se abre. El orificio piloto tiene una superficie de circulación superior a la superficie total de los orificios de igualación. La presión recibida encima del diafragma es reducida por la circulación a través del orificio piloto hacia el lado de salida de la válvula y el diafragma sube por el efecto de la presión de entrada más significativa la cual se encuentra en su lado inferior. Cuando se desenergiza la bobina, el orificio piloto se cierra y el diafragma se desplaza hasta el asiento de la válvula debido al aumento de la presión aplicada a través de los orificios de igualación.

³⁰ *Controles Automáticos para Sistemas de Refrigeración Industriales. México, Danfoss, RA Marketing/MWA .2007*

- ✓ Válvula de cierre³¹

Figura 18. Válvula de cierre



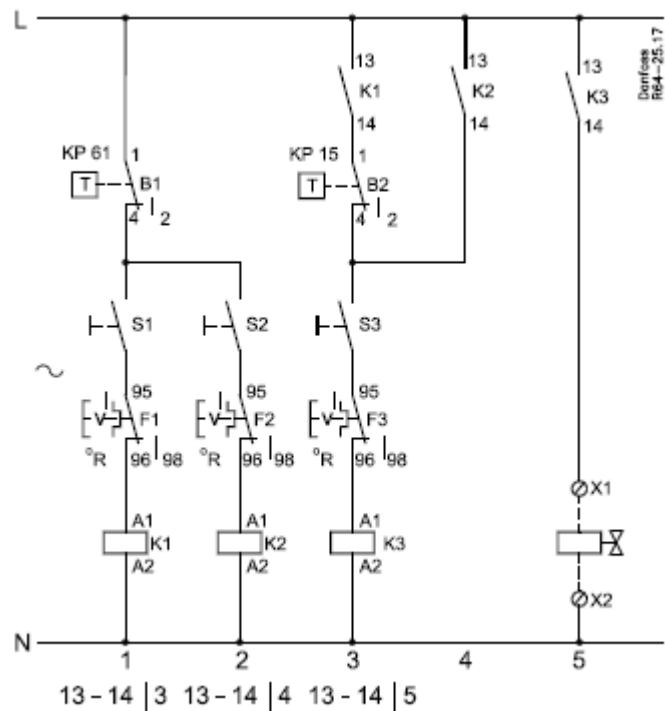
Fuente: Controles Automáticos para Sistemas de Refrigeración Industriales. Danfoss

Las válvulas de cierre BM tienen una triple junta de diafragma (1) hecha de acero inoxidable. Una zapata de empuje (2) impide el contacto directo con el eje (3). El muelle (4), conjuntamente con el diafragma pretensado, que es capaz de mantener la válvula abierta a presiones de funcionamiento que pueden no ser superiores a $p_e = -1$ bar.

Para impedir la humedad está el contra asiento de la cubierta (5). Las válvulas están disponibles en versiones de paso recto, y de tres vías de $1/4$ pulg. Si es necesario, se puede obstruir la circulación a través del puerto lateral de la versión de tres vías dejando los otros puertos permanentemente abiertos.

³¹ *Controles Automáticos para Sistemas de Refrigeración Industriales. México, Danfoss, RA Marketing/MWA .2007*

Figura 19. Diagrama clave, corriente de control para instalación de refrigeración



Fuente: Controles Automáticos para Sistemas de Refrigeración Industriales. Danfoss

El anterior diagrama se interpreta de la siguiente manera: Cuando se eleva la temperatura en la cámara fría, permaneciendo cerrados los interruptores S1 y S2, el termostato tipo KP 61 establecerá el contacto entre los terminales 2 y 3, los relés K1 y K2 de los arrancadores de motor tipo CIT se energizarán y arrancarán los ventiladores del evaporador. Al tiempo los contactos auxiliares que hace parte de los circuitos 3 y 4 se cerraran. El relé K3 del arrancador para el motor del compresor tipo CIT se energizará si el presostato combinado de alta y baja tipo KP 15 establece contacto entre las terminales 2 y 3, y si el interruptor S3 está cerrado. El compresor arrancará y en el mismo instante el contacto auxiliar del circuito 5 conectará la corriente con la bobina E de la válvula solenoide EVR situada en la tubería de líquido. La válvula de solenoide se abrirá y el líquido refrigerante se inyectará en el

evaporador, efectuando la regulación por medio de la válvula de expansión termostática tipo TE.

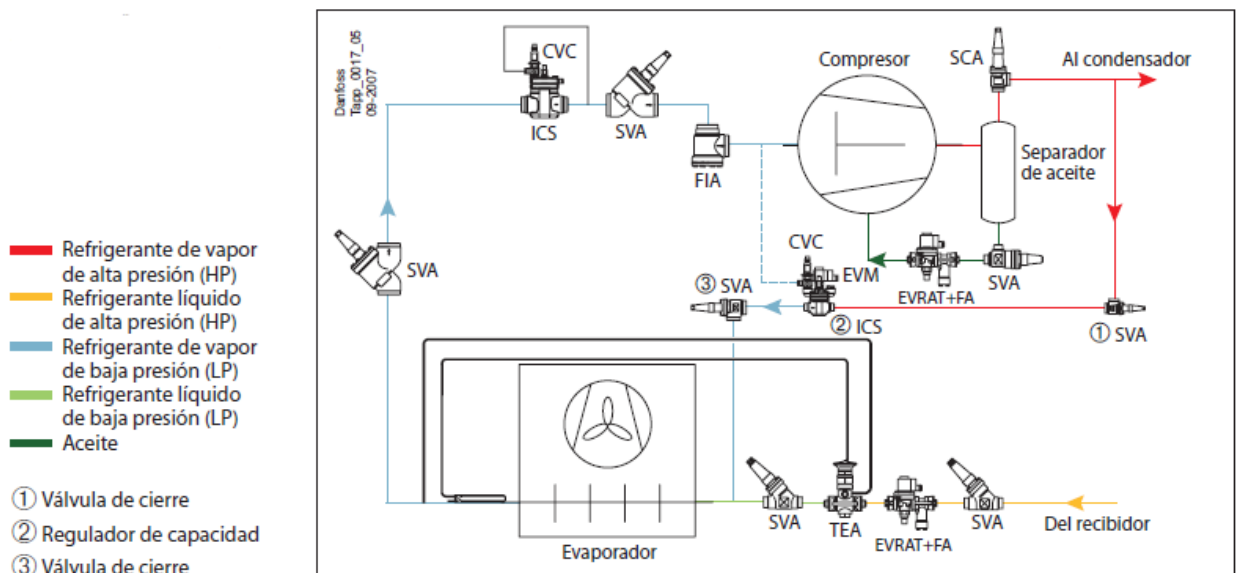
✓ **Refrigeración Industrial Danfoss**³²

Siguiendo los documentos de la empresa, Danfoss cuenta con una gran cantidad de catálogos con el fin de guiar al usuario a través de diferentes diagramas, ejemplos y contenido. Pero respecto a la refrigeración industrial, Danfoss maneja un manual donde tienen en cuenta los diferentes controles que se deben manejar sobre los diferentes equipos como el compresor, condensador y evaporador, además también tienen en cuenta el control sobre el nivel del líquido, enfriamiento de aceite y los sistemas de seguridad.

Los controles que se ejecutan sobre el compresor y su arreglo se visualizan a continuación.

³²*Controles Automáticos para Sistemas de Refrigeración Industriales. México, Danfoss, RA Marketing/MWA .2007*

Figura 20. Control de Capacidad del Compresor por desvío de gas caliente



Fuente: Controles Automáticos para Sistemas de Refrigeración Industriales. Danfoss

En los sistemas de refrigeración el bypass de gas caliente puede ser usado para controlar la capacidad de refrigeración en compresores con capacidades fijas. Esto se realiza con las válvulas servo accionada ICS^② con una válvula piloto CVC la cual es usada para el control del flujo del pasaje de gas caliente, de acuerdo a la presión en la línea de succión. La válvula CVC es una válvula piloto de contrapresión controlada, que tiene como función abrir la ICS e incrementar el flujo del gas caliente, esto solo se ejecuta cuando la presión de succión es inferior al valor del sistema. De esta forma, la presión de la succión delante del compresor se mantiene constante haciendo que la capacidad de refrigeración compensara la carga de enfriamiento real.

³³ *Controles Automáticos para Sistemas de Refrigeración Industriales.* México, Danfoss, RA Marketing/MWA .2007

Tabla 5. Control de capacidad del compresor por desvío de gas caliente

	Válvula servoaccionada - piloto - ICS
<i>Materiales</i>	Cuerpo: Acero de baja temperatura
<i>Refrigerantes</i>	Todos los refrigerante comunes, incluso R717 y R744
<i>Rango temperatura media [°C]</i>	-60 a +120
<i>Max. presión de trabajo [bar]</i>	52
<i>DN [mm]</i>	20 a 80

	Válvula piloto - CVC
<i>Materiales</i>	Cuerpo: Acero inoxidable
<i>Refrigerantes</i>	Todos los refrigerantes comunes
<i>Rango temperatura media [°C]</i>	-50 a 120
<i>Max. presión de trabajo [bar]</i>	Lado de alta presión: 28 Lado de baja presión: 17
<i>Rango presión [bar]</i>	-0,45 a 7
<i>Valor K_v [m³/h]</i>	0,2

Fuente: Controles Automáticos para Sistemas de Refrigeración Industriales. Danfoss

1.3. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

1.3.1. Refrigerantes³⁴

Es cualquier cuerpo o sustancia que actúa como agente de enfriamiento absorbiendo calor de otro cuerpo o sustancia. Con respecto al ciclo compresión-vapor, el refrigerante es el fluido de trabajo del ciclo el cuál alternativamente se vaporiza y se condensa absorbiendo y cediendo calor, respectivamente. Para que un refrigerante sea apropiado y se le pueda usar en el ciclo antes mencionado, debe poseer ciertas propiedades físicas, químicas y termodinámicas que lo hagan seguro durante su uso.

No existe un refrigerante “ideal” ni que pueda ser universalmente adaptable a todas las aplicaciones. Entonces, un refrigerante se aproximará al “ideal”, solo en tanto

³⁴PILLIGUA CHILÁN, Leonel Iván. “Diseño de un Software para calcular cámaras frigoríficas”. Director: Francisco Andrade. Tesis Pregrado. Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2006.

que sus propiedades satisfagan las condiciones y necesidades de la aplicación para la que va a ser utilizado.

1.3.2. Compresores³⁵

La práctica industrial moderna requiere, para múltiples usos, la compresión de gases y vapores. El accionamiento de herramientas neumáticas y mecanismos de potencia, el enfriamiento intenso y concentrado, la limpieza, etc. son aplicaciones corrientes que demandan aire comprimido.

Los principales tipos de compresores utilizados en la refrigeración industrial son tornillo, reciprocante, centrífugos y paletas rotativas. Otro tipo de compresores que se fabrica en grandes cantidades es el compresor de desplazamiento, pero hasta el momento estos compresores no están disponibles en el tamaño que normalmente se encuentran en la refrigeración industrial. Los compresores de paletas rotativas están todavía en uso como compresores de etapa baja, pero son pocos los instalados.

Los compresores centrífugos han sido estándar en la química por su gran capacidad y plantas de la industria de proceso donde ellas son manejadas por motores eléctricos o por vapor o turbinas de gas. Los compresores centrífugos son también ampliamente utilizados para el agua de refrigeración en aplicaciones de aire acondicionado. Los fabricantes utilizan refrigerantes como el R-123 y R-134a en estos paquetes.

Una definición más sencilla podríamos expresar que un compresor es una máquina capaz de elevar la presión del gas que maneja. En la industria la misión de los compresores es:

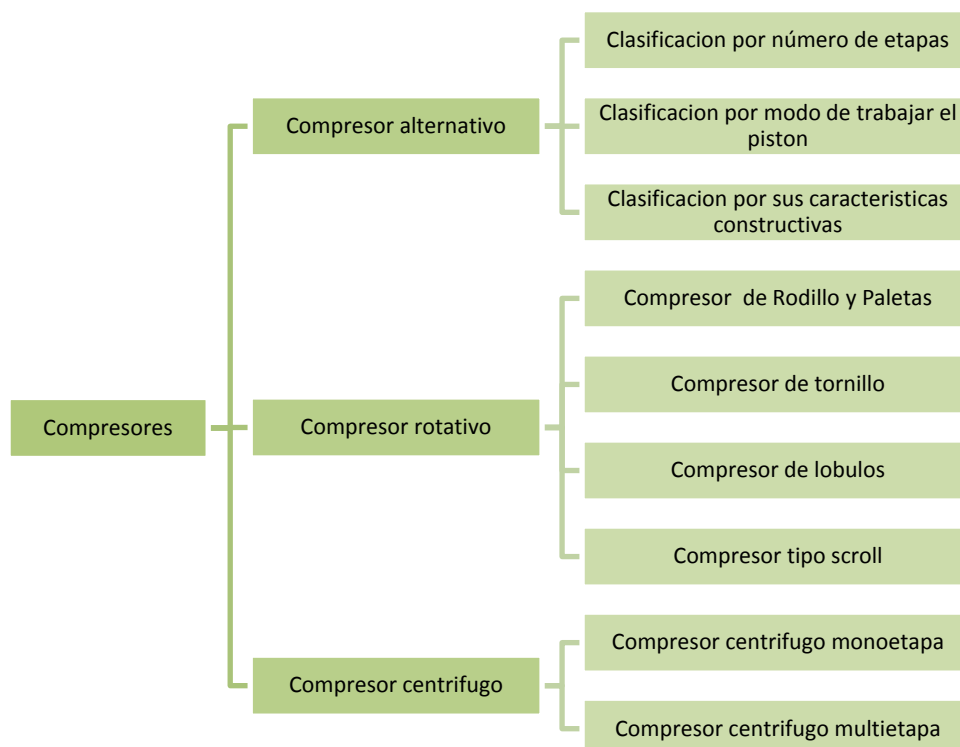
³⁵ *Manual de máquinas para fluidos 1*. Instituto de Mecánica de los Fluidos De Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, 2010

- ✓ Alimentar la red de aire comprimido para instrumentos;
- ✓ Proveer de aire para combustión;
- ✓ Recircular gas a un proceso o sistema;
- ✓ Producir condiciones idóneas para que se produzca una reacción química;
- ✓ Producir y mantener niveles de presión adecuados por razones de proceso de torres;
- ✓ Alimentar aire a presión para mantener algún elemento en circulación.

Los compresores pueden clasificarse como:

- Compresores Alternativos
- Compresores Centrífugos
- Compresores Rotativos

Figura 21. Clasificación de los Compresores



Fuente: Autores

1.3.2.1. Compresores alternativos

Los compresores alternativos son máquinas de desplazamiento y son compresores de tipo volumétrico, ya que la compresión del gas se da en su interior debido a una reducción de volumen. El funcionamiento de los compresores alternativos es muy parecido al de los motores alternativos debido a que el fluido refrigerante se comprime en el interior de los cilindros por el movimiento alternativos de los cilindros.

Estos compresores rara vez se emplean como unidades individuales, salvo que el proceso requiera funcionamiento intermitente. Los compresores alternativos tienen piezas en contacto, como los anillos de los pistones con las paredes del cilindro, resortes y placas o discos de válvulas que se acoplan con sus asientos y entre la empaquetadura y la biela. Todas estas partes están sujetas a desgaste por fricción y por ello hay que emplear un sistema de lubricación que puede ser por barboteo o por lubricación forzada.

Para más información sobre los compresores alternativos, revisar la multimedia anexada.

1.3.2.2. Compresores rotativos

Se denominan compresores rotativos a aquellos equipos que producen una compresión por un sistema rotatorio y continuo, es decir, que empujan el fluido desde la aspiración hasta la salida, comprimiéndolo. Se distinguen los siguientes tipos:

- De tornillo
- De paletas
- Tipo Roots
- Tipo scroll

✓ **Compresor de tornillo**

El compresor de tornillo es un compresor de desplazamiento con pistones en forma de tornillo; este es el tipo de compresor más utilizado en la actualidad. Entre las principales piezas del elemento de compresión de tornillo comprenden rotores machos y hembras que se mueven unos hacia otros mientras se reduce el volumen entre ellos y el alojamiento. La relación de presión de un tornillo depende de la longitud y perfil de dicho tornillo y de la forma del puerto de descarga.

El tornillo no está equipado con ninguna válvula y no existen fuerzas mecánicas para crear ningún desequilibrio. Por tanto, puede trabajar a altas velocidades de eje y combinar un gran caudal con unas dimensiones exteriores reducidas.

✓ **Compresor de paletas**

Este tipo de compresores existen dos mecanismos de acción, con paletas o de excéntrica, también llamados de rodillo. En los compresores de paletas y de rodillo, la compresión se produce por la disminución del volumen resultante entre la carcasa y el elemento rotativo, cuyo eje no coincide con el eje de la carcasa. En estos compresores rotativos no son obligatorias válvulas de admisión, ya que como el gas entra de forma incesante en el compresor la pulsación de gas es mínima.

✓ **Compresor tipo Roots**

Los compresores tipo roots también son llamados compresores de lóbulos, Su principio de funcionamiento se basa en aspirar aire e introducirlo en una cámara que disminuye su volumen. Está compuesto por dos rotores, cada uno de los álabes, con una forma de sección parecida a la de un ocho. Los rotores están conectados por dos ruedas dentadas y giran a la misma velocidad en sentido contrario, produciendo un efecto de bombeo y compresión del aire de forma conjunta. Este compresor

consigue impulsar el aire a mayor velocidad. Además los rotores no están en contacto el uno con el otro, ni cada uno de ellos con las paredes de la carcasa, siendo baja la estanqueidad del sistema y, por tanto, dando lugar a pequeñas fugas del aire.

✓ **Compresor tipo scroll**

Este tipo de compresores utilizan dos espirales para realizar la compresión del gas. Las espirales se disponen cara contra cara. Siendo la superior fija y la que incorpora la puerta de descarga. La inferior es la espiral motriz, Las espirales disponen de sellos a lo largo del perfil en las cargas opuestas. Estos actúan como segmentos de los cilindros proporcionando un sello de refrigerante entre ambas superficies, el centro del cojinete de la espiral y el centro del eje del cigüeñal del conjunto motriz están desalineados. Esto produce una excentricidad o movimiento orbital de la espira móvil, el movimiento orbital permite a las espirales crear bolsas de gas, y, como la acción orbital continua, el movimiento relativo entre ambas espirales, fija y móvil, obliga a las bolsas de refrigerante a desplazarse hacia la puerta de descarga en el centro del conjunto disminuyendo progresivamente el volumen.

1.3.2.3. Compresor centrífugo

Los compresores centrífugos son llamados también compresores radiales. El compresor centrífugo se fundamenta esencialmente en una o varias ruedas impulsoras, montadas sobre un eje de acero y encerradas en una cubierta de hierro fundido. El número de impulsores que se puede ensamblar depende principalmente de la magnitud de la presión que se quiere desarrollar durante el proceso de compresión.

Las ruedas impulsoras rotativas son esencialmente las únicas partes móviles del compresor centrífugo y por tanto la fuente de toda la energía impartida al fluido

durante el proceso de compresión, cuando ocurre la impulsión, es tan alta que tanto la columna estática como la velocidad del vapor, aumentan por la energía que se imparte al mismo.

1.3.3. Condensadores

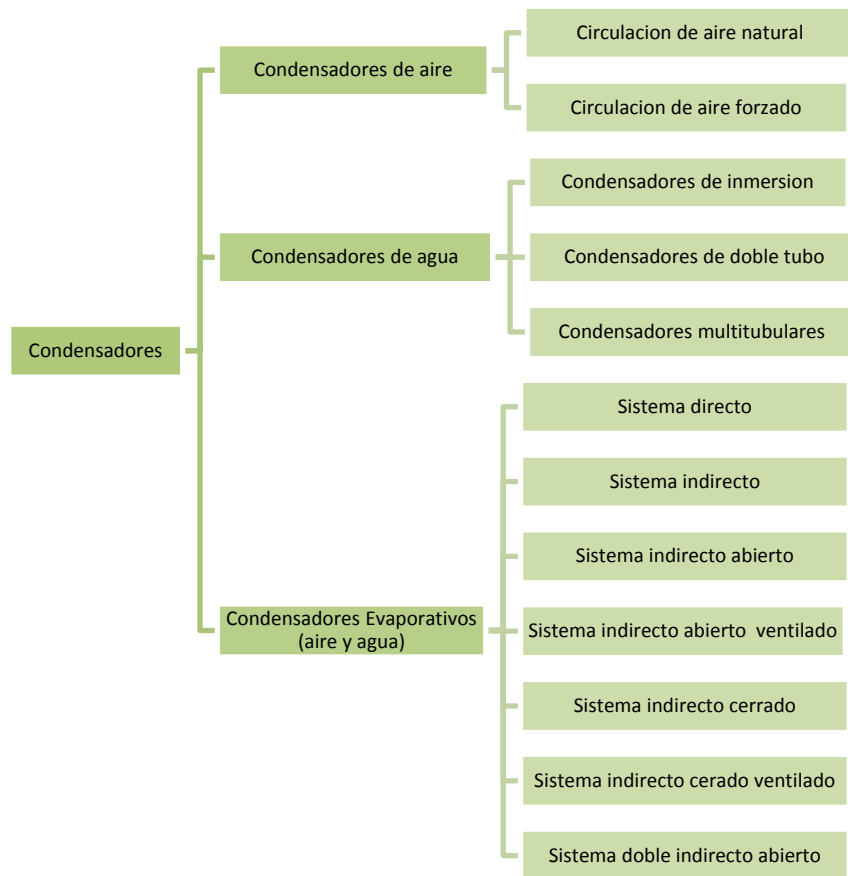
Su función es la de realizar el intercambio de calor en el refrigerante, lo cual permite su cambio de estado gaseoso a líquido. El condensador libera el calor que retira del refrigerante a través del medio condensante. El condensador recibe refrigerante a alta presión-alta temperatura y lo entrega a alta presión-baja temperatura.

El condensador es una superficie de transferencia de calor. El calor del vapor refrigerante caliente pasa a través de las paredes del condensador para su condensación. Como resultado de su pérdida de calor hacia el medio condensante, primero se enfría el refrigerante hasta saturación y después condensado hasta su fase de estado líquido. Los medios condensantes usados comúnmente son el aire, el agua o una combinación de los dos.

Los condensadores son de tres tipos:

- Enfriados con aire
- Enfriados con agua
- Evaporativos (agua y aire)

Figura 22. Clasificación de los condensadores



Fuente: Autores

1.3.3.1. Condensadores enfriados por aire

Estos tipos de condensadores normalmente trabajan en condiciones de convección forzada y en aplicaciones como muebles frigoríficos, la condensación la realizan mediante convección natural.

El tipo de condensador más habitual por aire es el de tubo con aletas. Las aletas tienen una separación definida, para así facilitar el paso del aire y a su vez reducir la

posibilidad de acumular suciedad en el condensador, por las aletas circula normalmente a una velocidad de 2,5 y 5 m/s.

La diferencia entre la temperatura de condensación y del medio condensador (aire) debe de oscilar entre los 12 y 16°C. La temperatura del medio condensador es la del aire en las condiciones de máxima temperatura. En climas muy cálidos, las elevadas temperaturas de condensación pueden repercutir en un bajo rendimiento del sistema.

1.3.3.2. Condensadores enfriados por agua

El agua de condensación se utiliza por su bajo costo y por manejar presiones de condensación más bajas y porque se puede tener mejor control de la presión de descarga. Por lo general se utiliza una torre de enfriamiento para bajar la temperatura del agua hasta una temperatura cercana a la temperatura de bulbo húmedo, permitiendo un flujo continuo y disminuir costos en el consumo de agua.

En los condensadores enfriados por agua, los coeficientes globales de transmisión de calor son mucho más elevados que en los condensadores de aire. Por tanto, son mucho menos voluminosos que los condensadores de aire.

Debido a este tipo de diseño se debe tener en cuenta la velocidad del agua a través del condensador, problemas de cavitación que se pueden generar por las condiciones variables de presión y de temperatura, mantener una presión positiva en el condensador. La corrosión, la incrustación y la congelación son los principales problemas que se deben controlar en las actividades de mantenimiento

1.3.3.3. Condensadores evaporativos

Los condensadores evaporativos pueden definirse como un intercambiador de calor indirecto, debido a que el intercambio de calor se hace inicialmente a través de una superficie metálica, cuyo primer intercambio de calor se realiza a través del contacto directo entre el vapor que será condensado y el agua del sistema de enfriamiento.

En los condensadores de evaporación, el vapor a ser condensado es enviado para el haz de tubos de un intercambiador de calor. Por fuera de los tubos se dispone de una "lluvia" de agua de enfriamiento en la temperatura ambiente, siendo que el agua se encuentra en un circuito cerrado, lo que necesitara recibir el agua de reposición constantemente. El calor de condensación se transfiere a la "lluvia", que se elimina por evaporación de agua, a través de una corriente de aire proporcionada por un ventilador.

Podemos decir que el condensador evaporativo es como una torre de enfriamiento del tipo compacta, siendo que en su interior está montado el haz tubular, donde el vapor del proceso se condensa adentro de los tubos. Los tubos deberán tener aletas porque este tipo de construcción facilita el intercambio de calor en el lado de la corriente de aire. El haz de tubos se monta generalmente con una pequeña inclinación, para facilitar la eliminación del condensado de dentro de los tubos y la eliminación de los gases incondensables por la parte superior.

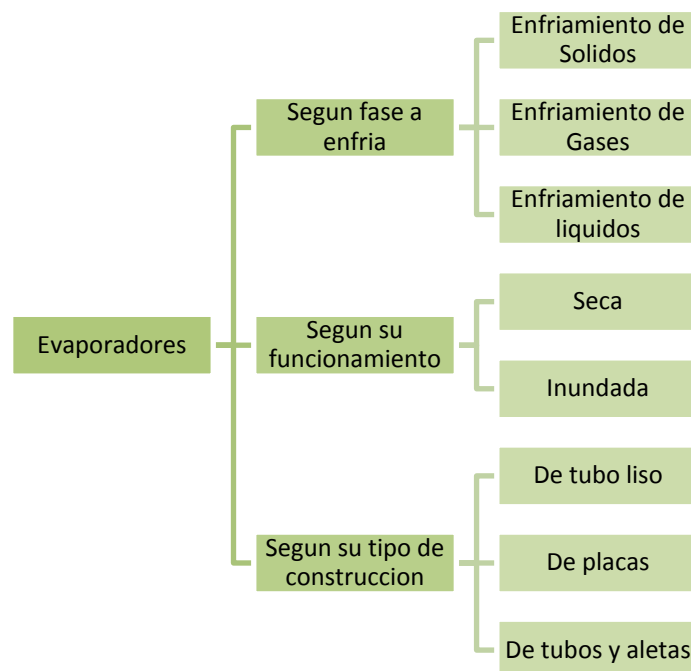
1.3.4. Evaporadores

El evaporador es el elemento de instalación donde se produce el efecto refrigerante. Es un intercambiador de calor, en el cual el calor de la cámara o local pasa al interior del evaporador por efecto de la ebullición del fluido refrigerante en su interior. El fluido refrigerante, ya expandido, entra al evaporador a la presión y temperatura necesarias para que efectúe el enfriamiento del medio que lo rodea.

Los evaporadores pueden ser de tipos variados, ya que la técnica del frío industrial abarca una muy amplia gama de aplicaciones, al tiempo que deben acomodarse a diferentes condiciones de trabajo que dependen de las temperaturas y del grado de humedad del vapor a la entrada del evaporador. En función de los diferentes requisitos de las distintas aplicaciones, los evaporadores se fabrican con una amplia variedad de criterios, tipos, formas, tamaños y materiales, pudiéndose clasificar en la siguiente forma, según:

- La fase a enfriar
- El tipo de funcionamiento
- El tipo de construcción

Figura 23. Clasificación de los Evaporadores



Fuente: Autores

1.3.4.1. Clasificación según fase a enfriar

Los evaporadores se pueden clasificar según la fase a enfriar de la siguiente manera:

- Para enfriamiento de sólidos
- Para enfriamiento de gases
- Para enfriamiento de líquidos

✓ Evaporadores para enfriamiento de sólidos

En el enfriamiento de sólidos únicamente se emplean evaporadores de placas que toman el calor de la materia a enfriar por conducción. La razón de emplear este tipo de evaporadores es que se prestan bien a modelar su forma, en concordancia con la de la superficie exterior del objeto a enfriar, aumentando al máximo el contacto entre ambos y evitando en lo posible la formación de zonas de superficies separadas que disminuyen el intercambio térmico entre el material a enfriar y el fluido frigorígeno.

✓ Evaporadores para enfriamiento de gases

En este tipo de evaporadores su aplicación más importante es el enfriamiento del aire en cámaras frigoríficas y en climatización. Existen dos subtipos fundamentales los cuales son de convección natural y convección forzada, los de convección natural son utilizados en operaciones donde se desean bajas velocidades de aire y una deshidratación mínima del productor, en cambio los de convección forzada son utilizados donde se desea unas velocidades de aire más altas y en este tipo de evaporadores se debe contar con algún sistema de descarche.

✓ **Evaporadores para enfriamiento de líquidos.**

Este tipo de evaporadores existen una gran variedad para el enfriamiento de líquidos y algunos poseen una alta eficiencia, pueden encontrarse inundados o de expansión seca y algunos de los modelos que se pueden encontrar son los siguientes:

- De doble tubo
- Baudelot
- De tanque
- De carcasa y serpentín
- De carcasa y tubos
- De atomizador

1.3.4.2. Clasificación según su funcionamiento

Los evaporadores también pueden clasificarse por su tipo de funcionamiento, de esta forma:

- Evaporadores de expansión seca
- Evaporadores inundados

✓ **Evaporadores de expansión seca**

Este tipo de evaporadores además de ser baratos y de un diseño más sencillo, se caracterizan porque el fluido refrigerante se encuentra al final del evaporador en estado gaseoso, ya que una parte del evaporador se utiliza para el recalentamiento del fluido frigorífico.

En los evaporadores secos cuando se produce la alimentación, generalmente lo hacen por medio de las válvulas de expansión termostáticas. El fluido entra expansionando y a la salida se encuentra en estado de vapor por la transferencia de calor. Esto es debido a que las válvulas de expansión termostáticas trabajan según el recalentamiento de vapor a la salida del evaporador.

✓ **Evaporadores inundados**

En este tipo de evaporadores el fluido se encuentra en estado líquido desde la entrada hasta la salida, solo que a la salida será una mezcla de gas y líquido, pero un porcentaje considerable de líquido.

Son evaporadores que se caracterizan por su sistema de expansión y su gran rendimiento, debido que si a la salida el fluido está en un porcentaje elevado de líquido, implica que la diferencia de temperaturas entre el fluido refrigerante y el medio a enfriar es prácticamente constante.

1.3.4.3. Clasificación según su tipo de construcción

Los evaporadores también pueden clasificarse por su tipo de construcción, como lo son:

- De tubo liso
- De placa
- De tubos y aletas

✓ **Evaporador de tubo liso**

Este tipo de evaporadores por lo general se fabrican bajo pedido para instalaciones en particular, las formas más comunes utilizadas son de zig-zag y en espiral. Estos evaporadores pueden ser de tubos limpios o desnudos y en los serpentines se utiliza comúnmente para enfriar líquidos.

✓ **Evaporador de placas**

Los evaporadores de placas cuentan con las mismas características constructivas que los condensadores de placas y también se fabrican con placas de acero inoxidable.

Estos evaporadores se utilizan con frecuencia para enfriar aceite del compresor de tornillo, economizador o sub-enfriadores de líquido en instalaciones de baja temperatura. Los evaporadores de placas pueden ser compactos o desmontables para facilitar su limpieza.

✓ **Evaporadores de tubos y aletas**

Se trata de un evaporador con serpentín de tubos lisos sobre los cuales se colocan unas placas metálicas separadas desde 2 hasta 20mm. Estas aletas tienen el efecto de aumentar la superficie del intercambio del evaporador.

Como más pequeño sea este espacio entre las aletas, más fácilmente se formará hielo afectando el rendimiento del evaporador y como consecuencia será necesaria una mayor frecuencia de desescarches.

Con este tipo de tubos aleteados se pueden construir evaporador más pequeño que los de tubos desnudos, debido que en estos evaporadores existe una mayor transferencia de calor.

1.3.4.4. Descarche en los evaporadores

En los evaporadores se presenta un problema que es la formación de hielo, el hielo es perjudicial para el rendimiento del evaporador, ya que este actúa como aislante entre el aire y el fluido refrigerante. El descarche es la solución a esta problemática, consiste en la eliminación del hielo que se forma en la superficie del evaporador y algunos de los métodos de descarche encontramos los siguientes:

- Por pulverización o lluvia de agua
- Por circulación de los gases calientes de la descarga del compresor
- Por resistencias eléctricas
- Por aire

✓ Desescarche por pulverización o lluvia de agua

El desescarche por pulverización es el sistema más sencillo, este sistema consiste en proyectar una lluvia de agua a presión sobre las capas de hielo acumuladas en el evaporador, y de esta manera fundir el hielo y limpiar el evaporador, preparándole para un correcto funcionamiento.

En algunas instalaciones cuyos compresores funcionan con condensadores de agua, se acumula el agua de condensación en un depósito y, posteriormente, se utiliza para el desescarche. Con ello se obtiene un ahorro de agua y un ciclo de descongelación más corto al utilizar agua a temperatura más elevada.

✓ **Desescarche por circulación de los gases calientes de la descarga del compresor**

Existen varios tipos de desescarchado por gas caliente pero el más utilizado es el de ciclo invertido, cuyo elemento esencial es la válvula inversora.

En funcionamiento normal, un serpentín interior actúa como evaporador absorbiendo calor, y uno exterior como condensador cediendo calor. Durante el desescarche la válvula inversora desvía el flujo de refrigerante, de modo que éste recorre el circuito en sentido opuesto, excepto a su paso por el compresor. El resultado es que el serpentín interior pasa a trabajar como condensador, mientras que el exterior es ahora el evaporador. De esta forma, el calor de compresión se encarga de calentar el serpentín interior eliminando el hielo.

El motivo por el cual este sistema es más caro, es debido a que los dos intercambiadores necesitan estar equipados con válvulas de expansión, provistas de sus correspondientes by-pass para que el refrigerante no pase por ellas en sentido inverso.

✓ **Desescarche por resistencias eléctricas**

Es el sistema más sencillo de instalar y fácil de regular y controlar, por esta razón es el más generalizado. El sistema consiste en el acoplamiento de un juego de resistencias eléctricas al evaporador, en contacto íntimo con las aletas, que se encargará, llegado el momento, de calentar el evaporador hasta licuar totalmente el hielo.

✓ **Desescarche por aire**

Es un método sencillo comúnmente utilizado en cámaras cuya temperatura está por encima de 0°C.

Su funcionamiento consiste en un ciclo regulado por un control de presión. Al formarse hielo en el evaporador, la presión de aspiración va disminuyendo y llega a un punto límite, en que el control desconecta el compresor. Con el compresor parado y el ventilador en funcionamiento, el aire a temperatura superior a la de congelación va quitando la escarcha.

1.3.5. Dispositivos de control de flujo

Los dispositivos de control de flujo refrigerante son muy utilizados en los sistemas de refrigeración como los aires acondicionados o enfriadores. Los dispositivos básicos de control del flujo, como los pistones y los tubos capilares han dado paso a las válvulas térmicas y a las válvulas electrónicas. Algunos de estos dispositivos son utilizados por su bajo consumo de energético que lo logran regulando el uso de refrigerante que se dirige a los equipos de refrigeración.

Para cualquier dispositivo de control de flujo sus funciones son las siguientes:

- Medir el refrigerante líquido, para que pase al evaporador con un flujo igual a la cantidad que se evaporara.
- Mantener una presión diferencial entre el lado de alta y de baja presión, para que el refrigerante se evapore a la baja presión deseada y la temperatura correspondiente.

En la industria podemos encontrar seis tipos de dispositivos reductores de presión que se usan diversas fases de refrigeración, los cuales son:

- Válvula de expansión manual
- Válvula de expansión automática
- Válvula de expansión termostática
- Tubos capilares
- Control con flotador de baja presión
- Control con flotador de alta presión

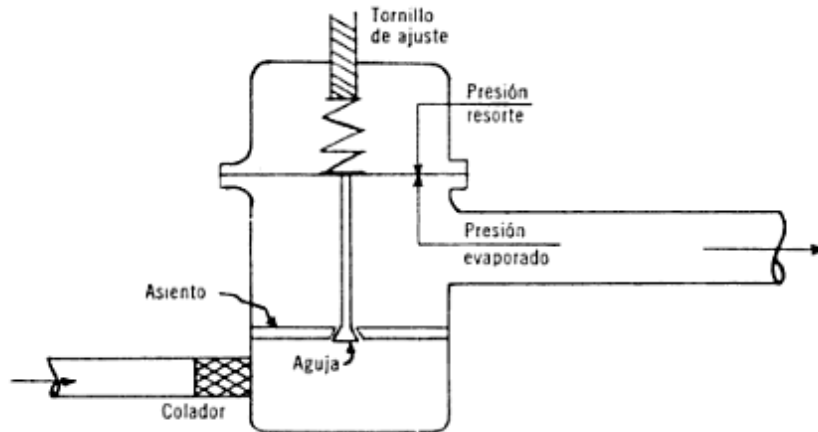
✓ **Válvula de expansión manual**

Esta válvula se usa en equipos donde se requiere una carga constante, o bien, como by-pass de válvulas automáticas y su construcción es similar a una válvula de aguja. En este tipo de válvulas el fluido de refrigerante líquido depende del orificio y la abertura de la válvula, el ajuste se debe realizar de manera manual, por esta razón la válvula de expansión manual ha sido reemplazada ampliamente por válvulas automáticas.

✓ **Válvula de expansión automática**

El funcionamiento de una válvula de expansión automática depende de la presión del evaporador, al aumentar la presión del evaporador, esta vence al resorte y cierra la aguja. Asimismo, al bajar la presión, el resorte se expande y cede la aguja, permitiendo el paso del refrigerante al evaporador

Figura 24. Válvula de expansión Automática



Fuente: Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración por Eduardo Hernández

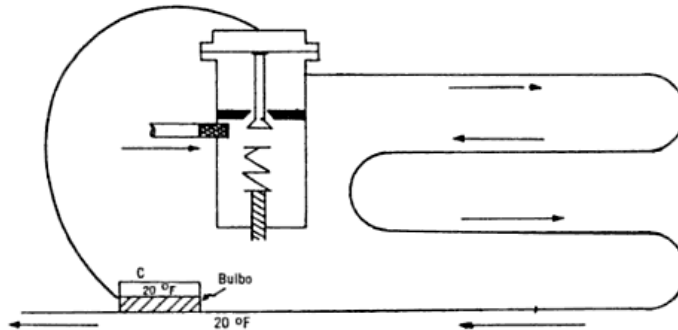
La válvula automática de expansión proporciona baja eficiencia en el evaporador, por esta razón este tipo de válvulas suele utilizarse en equipos pequeños. En ciertos tipos de montajes la válvula automática se instala como by-pass entre el condensador y la línea de succión, para que la presión del evaporador no pase de cierto mínimo. La principal característica en este tipo de válvula es que pueden mantener una presión constante.

✓ Válvula de expansión termostática

La válvula de expansión termostática cuenta con una alta eficiencia y una gran adaptabilidad, es el dispositivo de control que más se usa. La función que cumple dentro del ciclo de refrigeración es mantener un sobrecalentamiento constante en la salida del evaporador, permitiendo que el evaporador este completamente lleno a cualquier carga y evitar la posibilidad de que entre líquido al compresor.

En estas válvulas, la presión del gas del bulbo debe ser sensiblemente igual que la presión del evaporador.

Figura 25. Válvula de expansión termostática



Fuente: Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración por Eduardo Hernández

✓ Tubos capilares

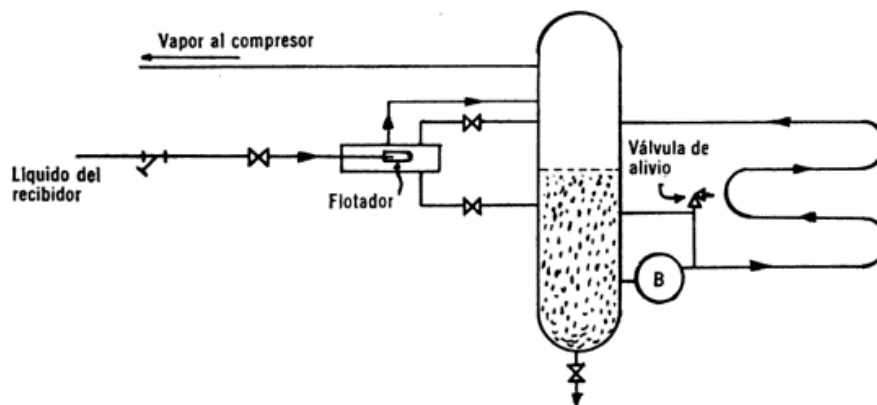
Los tubos capilares es el método más sencillo de controlar el flujo, pero este sistema solo da su máxima eficiencia bajo ciertas cargas y en otras podría ser baja. Se usa en unidades paquete y pequeñas y en todos los refrigeradores y congeladores domésticos.

Debido a la gran resistencia por fricción que resulta de su longitud, su diámetro pequeño y por el efecto del estrangulamiento resultante de la formación gradual de gas en el tubo, a medida que la presión del líquido se reduce hasta un valor menor a la presión de saturación, el tubo capilar actúa para restringir o medir el flujo del líquido del condensador al evaporador y también para mantener la diferencia de presión de operación. Para cualquier longitud y diámetro especificados la resistencia del tubo es fija y constante, de modo que la razón de flujo líquido a través del tubo en cualquier instante de tiempo es proporcional al diferencial de presión entre el lado de baja y el de alta.

✓ Control con flotador de baja presión

El control por medio de flotador, por lo general, se usa en los sistemas inundados. La principal ventaja del evaporador inundado es la alta capacidad y eficiencia. La entrada del líquido puede ser continua o intermitente. El flotador puede instalarse directamente en el evaporador, en el acumulador o en una cámara controladora del nivel. Se llama flotador de baja presión, porque controla el nivel en el evaporador del lado de baja presión.

Figura 26. Control con Flotador de baja Presión

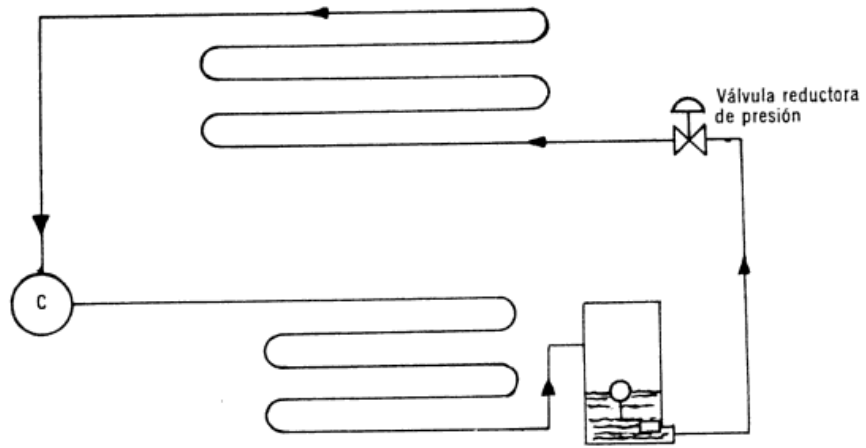


Fuente: Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración por Eduardo Hernández

✓ Control con flotador de alta presión

El control con flotador de alta presión se lleva a cabo después del condensador por medio de un flotador que, conforme sube el nivel, la válvula se abre. Se llama flotador de alta presión, porque el nivel se controla en el lado de alta presión.

Figura 27. Control con flotador de alta presión



Fuente: Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración por Eduardo Hernández

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1. OBJETIVO GENERAL

Contribuir con la misión de la Universidad Industrial de Santander que consiste en formar personas de alta calidad profesional, en la generación y adecuación de conocimientos, aportando a las industrias de refrigeración una alternativa informática que ayude a realizar una mejor opción de diseño de cámaras frigoríficas.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Crear una base de datos que permita determinar las propiedades térmicas y las condiciones óptimas de almacenamiento de los diferentes tipos de alimentos como carne, verduras, lácteos y frutas.
- Estimar los diferentes componentes de la carga térmica que debe ser retirada de la cámara
- Seleccionar los componentes del sistema mecánico en este caso unidad condensadora y evaporador, a partir de una base de datos de los fabricantes.
- Elaborar un plano preliminar (largo, ancho y profundidad) de la estructura general de la cámara frigorífica.
- Hacer un estudio de un caso típico de instalación donde se ejecuten las pruebas de funcionalidad e integridad de la herramienta computacional contra la herramienta WINREF en el cual se elaborará un informe resumido con todas las características térmicas y mecánicas del diseño de la cámara, y por ultimo realizar una simulación en flash del funcionamiento de una cámara frigorífica.

3. RECOMENDACIONES PARA LA CONSERVACION DE PRODUCTOS

El uso de cámaras frigoríficas para la conservación de productos perecederos como carne, pescados, huevos o frutas resulta indispensable. El frío que proporcionan es clave en la prevención de muchos problemas relacionados con la aparición de patógenos en alimentos. Sin embargo, no deben menospreciarse los problemas que llevan implícitos. Si bien los gérmenes se inmovilizan durante un tiempo, si estos permanecen más de lo necesario en el interior de la cámara, se "acostumbran" a la temperatura y empiezan a actuar de nuevo. Mantener estas cámaras limpias y desinfectadas, y utilizar los métodos más adecuados para ello, puede neutralizar las bacterias de los alimentos allí almacenados.³⁶

El objetivo, sea cual sea la capacidad y el alimento, es conseguir una adecuada conservación, que es posible manteniendo una temperatura ligeramente superior al punto de congelación. Con estos grados lo que se consigue es mantener el agua de constitución de los alimentos líquidos, lo que permite ralentizar su degradación y conservar las propiedades inalterables durante un periodo más o menos prolongado. Para que el uso de esta conservación industrial sea eficiente es imprescindible tener en cuenta factores como el tipo de alimento que se conservará, la cantidad, el tiempo y cómo se realizará la limpieza. En definitiva, deben evaluarse las necesidades del producto y las características de la instalación para así conseguir una mayor seguridad del producto.³⁷

³⁶C. Martha. *La importancia de las cámaras frigoríficas en la seguridad alimentaria*[en línea]. EROSKI CONSUMER, 2013 [fecha de consulta: 13 de Mayo del 2013]. Disponible en <<http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/ciencia-y-tecnologia/2009/03/25/184220.php>>

³⁷Ibid.

Bajo condiciones seguras³⁸

Las cámaras frigoríficas forman parte de uno de los principales eslabones de la cadena alimentaria. Cualquier producto perecedero entra a formar parte de este paso antes de ser comercializado ya que se trata de alimentos que necesitan, de forma ininterrumpida, la acción del frío, desde la poscosecha o el sacrificio hasta el consumo o su uso en la industria. De ahí la importancia de contar con unas instalaciones adecuadas de almacenamiento, tanto en las zonas de producción como en las de abasto y en las industrias procesadoras de alimentos.

Desde vehículos provistos de este sistema, a almacenes frigoríficos industriales, cámaras de supermercados y restaurantes y, por último, el frigorífico en casa. Todos ellos forman parte de esta necesidad de refrigeración, desde la materia prima hasta que llega al consumidor.

Sea cual sea el método que se vaya a utilizar, la desinfección deberá hacerse las veces que el almacenamiento de productos lo permita, es decir, siempre que los refrigeradores queden vacíos, y deberán observarse aspectos como la irregularidad de las superficies del interior de las cámaras, que obliga a tener especial cuidado en las zonas en las que pueden ubicarse microorganismos con mayor facilidad.

Tipo de alimento ³⁹

Además de mantener las instalaciones en unas condiciones de limpieza y desinfección adecuadas para que los alimentos estén en buen estado, es

³⁸C. Martha. *La importancia de las cámaras frigoríficas en la seguridad alimentaria*[en línea]. EROSKI CONSUMER, 2013 [fecha de consulta: 13 de Mayo del 2013]. Disponible en <<http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/ciencia-y-tecnologia/2009/03/25/184220.php>>

³⁹Ibid.

imprescindible tener en cuenta el tipo de alimento que tenga que refrigerarse. Así, no deben mezclarse, por ejemplo, materias primas con productos elaborados, ni productos de origen vegetal con los de origen animal, excepto si están envasados. Lácteos, huevos, aves, carne de caza o pescados y mariscos son algunos de los productos de origen animal que deben almacenarse aislados. En cuanto a los vegetales, se deben guardar por separado, atendiendo a las necesidades tecnológicas que precisen.

En el caso de la carne, como la de ave, no debe olvidarse que es muy perecedera, por lo que es muy importante mantener la cadena del frío desde el momento del sacrificio hasta que llega al consumidor. Dentro de la ruta del frío que debe seguir el producto se incluye desde los transportistas hasta los distribuidores, que juegan un papel muy importante en la seguridad del alimento. Si no se siguen los controles para mantener la temperatura en cualquiera de los puntos la inocuidad del alimento puede verse afectada.

3.1. PESCADO Y PRODUCTOS PESQUEROS⁴⁰

Los Pescados y mariscos utilizados como alimentos y que requieren refrigeración son los siguientes: Barbada, bacalao, pescadilla, platija y perca, langosta, almejas, concha de peregrino, cangrejo, gamba, capelán, arenque, sardinas, pargo rojo, carpa, pez búfalo, siluro, atún, salmón, bacalao, lenguados, trucha y mejillones. Luego del proceso de recolección del mar o río, el animal es puesto al barco pesquero y debe tratarse rápidamente para asegurar su calidad. Para ello se lava y luego se pone en hielo. Los cangrejos y crustáceos se conservan generalmente vivos en el buque pesquero sin refrigeración El pescado por piscicultura es recogido y vendido en recipientes rodeados de hielo.

⁴⁰ *Información multimedia Colfrigas*. Frigoríficos Colombianos S.A. Bogotá D.C., Colombia. 2001.

Figura 28. Producto Pesquero en Hielo



Fuente: Tomado de <www.consumer.es/web/es/alimentacion/tendencias/>

3.1.1. Clasificación de Peces según características⁴¹

De acuerdo a su composición los Peces se dividen en dos tipos

3.1.1.1. Pescados grasos

Son aquellos que en su tejido muscular contienen lípidos poliinsaturados y son fácilmente oxidables y se enrancian durante el almacenamiento. El grado de instauración se determina químicamente por el índice de yodo y si es elevado indica que el animal es susceptible a desarrollar enranciamiento. La oxidación de la materia grasa permite sustancias coloreadas e indebidas.

El contenido en aceite varía de acuerdo a la especie y las estaciones del año, edad, tamaño y lugar de la pesca. La rapidez de enranciamiento puede disminuirse

⁴¹*Información multimedia Colfrigas.* Frigoríficos Colombianos S.A. Bogotá D.C., Colombia. 2001.

manteniendo el almacenamiento en estado congelado a una temperatura baja y protegida por la acción del oxígeno.

3.1.1.2. Pescados Blandos

Sus tejidos musculares contienen pocos lípidos diferentes químicamente a los pescados grasos. En estas especies las alteraciones afectan con frecuencia la textura de una parte y sobre todo el endurecimiento de la carne a causa del rigor mortis.

3.1.2. Composición de los moluscos y crustáceos⁴²

En los crustáceos la parte que se consume es el tejido muscular. Igual a la de los pescados se puede endurecer durante el almacenamiento, pero en este caso los efectos del rigor mortis no tienen mayor importancia. En otros casos se consumen otras partes del animal, como el cangrejo pardo donde se incluyen en el consumo de glándulas digestivas y las gónadas; estas partes tienen un alto contenido de grasas que pueden enranciarse durante el curso del almacenamiento. Los crustáceos en la época de muda cambian periódicamente su caparazón para poder crecer, en estos momentos el tejido muscular es muy acuoso y si se congela durante esta etapa, el exudado durante la descongelación es elevado.

En los moluscos se consume la mayor parte del cuerpo del animal, la duración de la conservación en el estado congelado está frecuentemente limitada a las modificaciones del aroma que ocurren en los lípidos de las partes no musculares.

⁴²*Información multimedia Colfrigas*. Frigoríficos Colombianos S.A. Bogotá D.C., Colombia. 2001.

3.1.3. Aspectos de Productos pesqueros⁴³

3.1.3.1. Endurecimiento:

Se produce para todos los pescados blancos a partir de reacciones químicas en las proteínas musculares. La capacidad de retención de agua se reduce y la carne cocida es dura, fibrosa y seca. Las diferentes especies son más o menos sensibles a dicho efecto. Los principales factores que producen este deterioro son la temperatura y duración del almacenamiento. El único medio práctico de retrasar la aparición del defecto es mantener el pescado de manera continua a temperaturas muy bajas como -30°C.

3.1.3.2. Efectos del Rigor Mortis

Es una rigidez que se forma en los tejidos del pescado luego de la muerte y puede resolverse al cabo de un número de horas o de días, dependiendo de las especies y las condiciones de tratamiento. Los problemas existen solamente cuando el pescado se congela poco después de la captura. En general el pescado entero puede congelarse con seguridad. Los procesos bioquímicos relativos al establecimiento y a la desaparición del rigor mortis tienen lugar normalmente a la temperatura del hielo o a baja temperatura. Sin embargo el pescado a congelar en estado de rigor mortis debe ser manipulado con precaución y no debe enderezarse a la fuerza si presenta curvatura pues puede provocar un desgarramiento del tejido muscular.

⁴³ Ibid.

3.1.4. Causas de deterioro Productos pesqueros⁴⁴

Luego de su muerte el animal pesquero puede sufrir las siguientes causas de deterioro:

- Cambios en su organismo, como consecuencia de acciones de microorganismos, enzimas y sustancias químicas.
- Los microorganismos presentes en la superficie del cuerpo, vísceras y tracto intestinal se multiplican a grandes velocidades e invaden la carne o músculo el cual es el medio ideal para su crecimiento.
- El incremento de bacterias provoca la aparición de mucosidad y viscosidad en la piel, destilando un desagradable olor amoniacal, o aromas ácidos, eventualmente reblandeciendo el músculo.
- La carne pierde su firmeza.
- Las fuentes de energía cesan; no es así con las enzimas cuya actividad continúa postmortem y ocasiona un rompimiento de los tejidos. A este proceso se le denomina autólisis, esta actividad afecta el sabor, la textura y al final la apariencia de la carne.
- Cambios químicos que pueden hacer que el pescado pierda sus características. Dentro de estos cambios está el que involucra la acción por el oxígeno sobre las grasas dentro del pez, produciendo malos olores y rancidez. Cuando el pescado se almacena congelado, la rancidez se convierte en un grave problema.

⁴⁴ *Información multimedia Colfrigas*. Frigoríficos Colombianos S.A. Bogotá D.C., Colombia. 2001.

3.1.5. Criterios organolépticos de la calidad del pescado⁴⁵

Para evaluar la calidad los productos pesqueros deben considerar las siguientes características

Tabla 6. Características de Buena y Mala calidad

Factor	Buena calidad	Mala calidad
Ojos	Brillantes, transparentes a menudo saltones	Neblinosos, a veces rosados y hundidos
Olor	Dulce, a pescado o semejante a algas	Podrido agrio con presencia de sulfuros y aminas.
Color	Brillante, característico de cada especie, con tonalidades de perla según ángulo de luz	Apagado, mate
Textura	Firme, puede estar en rigor, elástica a la presión de los dedos	Blanda, lacia, poca resiliencia con presencia de fluidos.
Viente	Las paredes intactas, forma normal. Ano rosado	A menudo roto, ano hinchado, marrón, saliente.
Organos	Intactos, brillantes, fácilmente reconocibles	Blandos o licuados, una masa grisácea homogénea
Tejido muscular	Blanco o el característico de la	La carne blanca va de rosada a gris

⁴⁵ *Información multimedia Colfrigas.* Frigoríficos Colombianos S.A. Bogotá D.C., Colombia. 2001.

	especie	dependiendo de color de la sangre alrededor de la espina dorsal.
--	---------	--

Fuente: Multimedia Colfrigas

La máxima vida en almacenamiento del pescado varía según la especie. A 2°C puede durar de 10 a 15 días si su calidad es óptima. El pescado de agua dulce puesto en hielo y cajas almacenado en cámaras de refrigeración puede durar hasta 7 días. Las cámaras de almacenamiento y distribución del pescado deben estar a 2°C y más de 90% de humedad relativa.

3.1.6. Congelación del pescado⁴⁶

La conservación del pescado en congelación es recomendable porque:

- Estos productos presentan mayor deterioro incluso que la carne y otros alimentos proteicos y requieren preservar su calidad.
- Los productos de pesca son frecuentemente estacionales, capturados durante un corto periodo del año o en cantidades variables en el curso del mismo. Una congelación bien establecida permite un funcionamiento eficaz de la industria de transformación pesquera.

⁴⁶ *Información multimedia Colfrigas*. Frigoríficos Colombianos S.A. Bogotá D.C., Colombia. 2001.

3.1.6.1. Ventajas de congelar rápidamente el pescado⁴⁷

- Enfría rápidamente el producto, evitando la descomposición bacteriana.
- Facilita la rápida manipulación de grandes cantidades de producto.
- Hace práctico el uso de bandas transportadoras y dispositivos automáticos, reduciendo los costos de elaboración
- Facilita el máximo uso del espacio ocupado por el congelador
- Un producto de aspecto uniforme con el mínimo de defectos sobre el empaque, como vacíos o protuberancias.

3.1.6.2. Tipos de congelación⁴⁸

Congelación Lenta del pescado:

El pescado se coloca en estanterías de tubos frigoríficos por los cuales circula amoníaco, o salmuera fría para dar el efecto necesario frigorífico.

Congelación por inmersión

Inmersión por salmuera a baja temperatura. Actualmente se han empleado métodos que utilizan el enfriamiento por aire, por contacto con placas o estanterías refrigeradas o varias combinaciones de estos métodos. Esta congelación se utiliza para conservar el atún en alta mar y en menor escala congelar gambas, salmón y cangrejo.

⁴⁷ Ibid.

⁴⁸ *Información multimedia Colfrigas*. Frigoríficos Colombianos S.A. Bogotá D.C., Colombia. 2001.

3.1.6.3. Velocidad de Congelación de Pescados⁴⁹

Las Indicaciones típicas expresadas en velocidad de avance del frente de Hielo para congelación de pescado son las siguientes

Tabla 7. Velocidad de Avance del Frente de Hielo Recomendadas para Pescados de Acuerdo al Método de Congelación

Método de Congelación	Velocidad de Avance del frente de Hielo Recomendadas para pescados (mm/hora)
Congelación en masa, discontinua en una cámara de congelación a circulación de aire forzado	1.0
Congelación rápida en túnel	3 a 5
Congelador de placas	12 a 25
Congelación rápida en un aparato continuo de aire forzado	De 15 a 30
Congelación por gases licuados.	30 a 100

Fuente: Multimedia Colfrigas

3.1.7. Almacenamiento de Pescados⁵⁰

La velocidad para que estos cambios ocurran, dependen de:

- La composición del producto y cada especie
- El nivel y la constancia de temperatura junto con la humedad de la cámara de almacenamiento

⁴⁹Ibid.

⁵⁰Información multimedia Colfrigas. Frigoríficos Colombianos S.A. Bogotá D.C., Colombia. 2001.

- La protección ofrecida al producto mediante el uso de materiales adecuados de empaque y de los compuestos de formación en una capa helada.
- La humedad relativa de los cuartos de almacenamiento reduce la evaporación de los pescados. Se recomiendan humedades relativas no menores a 70% para el almacenamiento de pescados especialmente si se realiza a -26°C.

En la siguiente tabla se dan algunas vidas de almacenamiento para varios productos:

Tabla 8. Temperatura y Duración de un producto en Almacenamiento

Producto	Temperatura de Almacenamiento °C	Duración
Salmón glaseado con Hielo	-18°C	5 a 9 meses
Sardinias del pacífico	-18°C	4 a 6 meses
Platija, perca, pez de roca, salmón de plata, gamba, pescadilla (empacados)	-18°C	7 a 12 meses
Bacalao, merluza (empacados)	-18°C	Más de 12 meses
Pescado Graso glaseado	-12°C	3 meses
Pescado graso glaseado	-18°C	5 meses
Pescado graso glaseado	-24°C	Más de 9 meses
Lomo de pescado	-12°C	5 meses
Lomo de pescado	-18°C	9 meses
Lomo de pescado	-24°C	Más de 12 meses
Crustáceos cocidos	-12°C	4 meses

Crustáceos cocidos	-18°C	6 meses
Crustáceos cocidos	-24°C	Más de 12 meses
Camarones cocidos y pelados	-12°C	2 meses
Camarones cocidos y pelados	-18°C	5 meses
Camarones cocidos y pelados	-24°C	Más de 9 meses
Barbada	-12°C	11 a 12 meses
Bacalao	-18°C	6 meses

Fuente: Multimedia Colfrigas

Tabla 9. Duración útil en Hielo

Especie	Duración
<i>Especies marinas</i>	
Pescado Blanco Magro (bacalao, eglefino y merluza)	11 a 13 días
Pescado Plano (lenguado y solla)	15 a 18 días
Halibut	21 días
Arenque de verano (Pescado Graso)	2 a 4 días
Arenque de invierno (Pescado magro)	12 días
<i>Especies de Agua Dulce</i>	
Trucha	9 a 10 días
<i>Aguas Tropicales</i>	
<i>Especies Marinas</i>	
Bahrein	13 a 25 días
Ghana	19 a 22 días
Brunei	18 a 28 días

Sri Lanka	20 a 26 días
México	21 a 30 días
Hong Kong	30 a 31 días
India	7 a 12 días
<i>Especies de agua dulce</i>	
Pakistán	23 a 27 días
Uganda	20 a 25 días
África Oriental	15 a 28 días

Fuente: Multimedia Colfrigas

3.2. FRUTAS Y HORTALIZAS⁵¹

Son seres vivos que requieren del suministro continuo de energía para realizar las reacciones metabólicas. La respiración es el suministrador de esta energía mediante la degradación de sustancias orgánicas almacenadas en los tejidos.

3.2.1. Clasificación según la respiración

3.2.1.1. Climatéricos:

Productos que cosechados después de su madurez fisiológica presentan un ascenso marcado en su actividad respiratoria, llegando a un máximo denominado climaterio. La actividad respiratoria va acompañada de los cambios en las características organolépticas propias de la maduración

⁵¹ *Información multimedia Colfrigas.* Frigoríficos Colombianos S.A. Bogotá D.C., Colombia. 2001.

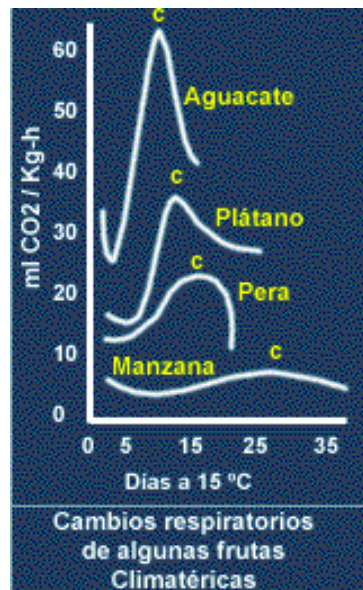
Frutos climatéricos: Manzana, albaricoque, aguacate, plátano, Chirimoya, Feijoa, Higos, Mango, Papaya, Granadilla, Melocotón, Pera, Ciruela, Tomate, Sandía.

3.2.1.2. No climatéricos:

Son los frutos que una vez recolectados no presentan ningún cambio brusco en su actividad respiratoria y las características organolépticas de la maduración se alcanzan lentamente.

Frutos no climatéricos: Cereza, pepino, Uva, Limón, Piña, Mandarina, Fresa, Naranja, Tamarillo, Mora, Coghombro.

Figura 29. Cambios Respiratorios de Algunas Frutas



Fuente: Multimedia Colfrigas

3.2.2. Conservación de Frutas y Hortalizas:

3.2.2.1. Preenfriamiento:

Es la disminución rápida de la temperatura de frutas y hortalizas una vez han sido recolectadas, hasta una temperatura adecuada para el producto según su clase, variedad, tiempo de almacenamiento, sistemas de transporte y destino final.

Objetivos:

- El preenfriamiento de productos vegetales frescos, se traduce en beneficios fisiológicos y económicos.
- La disminución de la temperatura frena la intensidad respiratoria retrasando la súper maduración
- Minimiza los procesos de deshidratación
- Disminuye el ataque de microorganismos y adicionalmente la cantidad de calor a eliminar en almacén y transporte.

3.2.2.2. Almacenamiento en refrigeración:

La refrigeración es considerada como factor primordial en el mantenimiento de la calidad. El uso apropiado de bajas temperaturas retardará:

- La respiración y otras actividades metabólicas
- El envejecimiento por maduración, ablandamiento, cambios de textura y color.
- Pérdida de la humedad
- Descomposición por invasión de bacterias, hongos y levaduras
- Cambios de sabor

Adicionalmente las frutas y hortalizas frescas que van a ser conservadas en condiciones de refrigeración, deberán estar libres de grietas en la piel, raspaduras, magullamientos, golpes o cualquier daño mecánico, que facilite el ataque de microorganismos, hongos, bacterias e insectos.

3.2.3. Condiciones de almacenamiento:

✓ Humedad Relativa

La mayoría de las frutas y hortalizas contiene entre el 80% y el 95% de su peso en agua y parte de esta es susceptible de perderse por evaporación. Si no se mantienen a niveles adecuados de humedad en el ambiente de las cámaras frigoríficas se pueden presentar desarrollo de fenómenos de deshidratación o marchitamiento.

✓ Circulación de aire

Se recomienda velocidades de 15 a 23 metros/minuto.

✓ Asepsia en cámaras frigoríficas

Limpieza de los cuartos de almacenamiento con productos clorados como hipoclorito de sodio en soluciones de 0.25% para limpiar pisos, superficies y estibas. Se recomienda la rotación de desinfectantes para evitar que los microbios desarrollen resistencia a los mismos.

Figura 30. Temperatura Sugerida de Refrigeración de Acuerdo a Cada Producto



Fuente: Multimedia Colfrigas

3.2.4. Posibles alteraciones por frío:

- Mango: Cambios en el contenido de azúcares y descenso en el total de azúcares solubles
- Banano y papaya: Hidrólisis lenta del almidón
- Papa y Maíz tierno: Pérdida del equilibrio entre el almidón y azúcar (glucosa) causando endulzamiento en la papa a 6°C por dificultar su reconversión del almidón.

3.3. CARNES⁵²

3.3.1. Almacenamiento:

Debe realizarse a temperaturas de -20°C para obtener beneficios de vida útil.

Tabla 10. Temperaturas de Almacenamiento de Carnes

Producto	Temperatura Alimento	Humedad Relativa (%)	Duración en Alimento
Tocino fresco	-4 a 1	85	1 mes
Tocino Congelado	-18	65-90	4-6 meses
Flete fresco	0 a 1	88-92	1-6 meses
Filete congelado	-18	90-95	9-12 meses
Jamón Fresco	0 a -1	85-90	7-12 meses
Cordero fresco	0 a 1	85-90	5-12 meses
Cordero congelado	-18	90-95	8-10 meses
Sebo Fresco	7	90-95	2 días
Sebo Congelado	-18	90-95	6-10 meses
Cerdo congelado	-18	90-95	12-14 meses
Hígado Congelado	-18	90-95	3-4 días
Carne cerdo Fresca	0 a 1	85-90	3-7 meses
Carne cerdo congelada	-18	90-95	4-8 meses
Carne cerdo Molida	-8	85-90	1 mes
Salchichas frescas	0 a 1	90-95	3-12 días
Carne Vacuna fresca	0 a 1	90-95	1-2 meses

⁵²Información multimedia Colfrigas. Frigoríficos Colombianos S.A. Bogotá D.C., Colombia. 2001.

Carne Vacuna congelada	-18	90-95	6-18 meses
Carne picada sin sal	-18	90-95	10 meses
Chuletas	-18	90-95	12 meses
Bacón	-18	90-95	2 meses
Carne de cerdo ahumada	-18	90-95	5-7 meses

Fuente: instituto internacional de Frío De París.

3.3.2. Efecto de la congelación sobre calidad de la carne

La higiene impone que la refrigeración y la congelación de la carne se realicen lo más pronto posible después del sacrificio. Los parásitos que se encuentran algunas veces en las carnes pueden ser destruidos por congelación y almacenamiento en estado congelado. Los quistes de la Tenia se destruyen manteniendo la carne diez días a temperatura inferior o igual a -10°C . Las larvas del nematodo Trichinellaspirales pueden ser eliminadas mediante una permanencia de 30 días a -15°C , 20 días a -25°C .

Durante el periodo de almacenamiento pueden surgir pérdidas de aromas, sobre todo en la carne de cerdo, además se pueden dar olores no deseables, indicando que el producto ya tiene un tiempo de almacenamiento.

3.3.3. Conservación de productos varios de la carne

Para refrigerar carnes y varios productos de ella, se recomienda bajar la temperatura del producto rápidamente hasta 0 o 1°C . Generalmente las carnes picadas han sido manipuladas más que las canales, por lo cual existe riesgo de contaminación, es preciso conservarlas por congelación o refrigeración rápida, la duración de estas

carnes es más corta que las carnes intactas, según las condiciones del producto y la preparación

Aspectos para tener en cuenta

La carne deshuesada es el estilo más usado para la comercialización, el proceso por el cual se retira el hueso de los canales se puede realizar a temperaturas bajas de 0 a 5°C hasta 10°C para detener la exagerada proliferación y crecimiento de microorganismos en el producto. La carne más grasa congela antes que la carne magra, las carnes de vacuno, ternera, cerdo y ovino congelan a igual velocidad si tienen igual cantidad de grasa y agua

Carnes tratadas

Los jamones ahumados y los embutidos deben refrigerarse tan rápidamente como sea posible a través de una banda donde se reduce su temperatura desde 40°C hasta 10°C. Luego se puede someter de 0 a -2°C.

El tocino luego de cortarse se almacena a -2°C pero también se puede ajustar la temperatura ambiente de los cuartos a -3°C, para conseguir temperaturas de 0 a -1°C en el producto.

Los platos a base de carnes se congelan una vez cocinados o luego de agregarles salsas, son inestables al congelarlos y descongelarlos por exudación. Por lo general, se almacena a temperaturas de -18 y -20°C y hay que contar con que la vida útil llegue a ser por lo menos de seis meses.

3.4. AVES⁵³

3.4.1. Razones de conservación

- Las aves congeladas son susceptibles a la acción del oxígeno. Los pollos almacenados sin envasar a -18°C y humedad relativa de 70% a las cuatro semanas muestran pérdidas de peso mayores a 5% y la piel tiene aspecto de picado por viruela, limitando su duración a tres semanas.
- Los pavos conservados a -18°C pueden durar entre 9 y 10 meses a la temperatura de -23°C hasta 12 meses, los gansos a -18°C duran 8 meses, los patos a estas temperaturas pueden durar 6 a 8 meses.
- Las aves despresadas y empacadas en empaques impermeables al vapor de agua y en forma compacta se conservan por tiempos similares a las que son enteras a -18 y -23°C . Las vísceras no se conservan por tanto tiempo ya que luego de tres meses el hígado comienza a perder su sabor característico tomándose amargo y teniendo pérdida de textura
- Las aves enteras apanadas o despiezadas apanadas, almacenadas a -18°C pueden tener pequeños cambios de sabor a los 2 meses de almacenamiento, pero su duración es de 8 a 10 meses si su carga microbiana es baja y están bien congelados y empacados.

⁵³ *Información multimedia Colfrigas*. Frigoríficos Colombianos S.A. Bogotá D.C., Colombia. 2001.

Tabla 11. Duración del Pollo en Almacenamiento

Temperatura °C	Tiempo (días)
24.0	1
21.0	1
10.0	5
4.4	6
2.0	14
0	18
-1.1	19
-18.0	300

Fuente: Multimedia Colfrigas

3.4.2. Descongelación y consumo:

Se recomienda que al sacar las aves a descongelación la temperatura del ambiente no debe ser mayor a 20°C si se requiere de una descongelación lenta. En condiciones ordinarias y por norma, las aves deben mantenerse congeladas hasta poco antes de su consumo. El procedimiento general es de descongelar con aire o con agua.

En general se consideran las siguientes formas:

- Colocar las aves a refrigeración por etapas
- Exponer al producto a hornos sencillos o microondas

- Descongelar en placas de conducción de calor
- Descongelar al ambiente, donde hay pérdidas exageradas
- Colocar el producto en agua generalmente caliente

En el caso de los pavos la descongelación en el empaque reduce el oscurecimiento de la carne. Todos los empaques de aves congeladas deben dar la totalidad de la información sobre descongelación del producto. Los pavos se recomiendan colocar en cuartos de 2 a 4°C durante 2 a 4 días. La inmersión en agua de las aves congeladas da tiempos de descongelación de 4 a 6 horas según el tamaño, y al aire, puede tardar de 8 a 12 horas para pollos grandes para pavos hasta 36 horas.

4. HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA EL CÁLCULO DE CARGAS Y DISEÑO DE CÁMARAS FRIGORÍFICAS

4.1. CÁLCULO DE LA CARGA

La carga de refrigeración total incluye

- ✓ la carga de transmisión: calor transferido en el espacio refrigerado por su superficie;
- ✓ la carga de producto: el calor quitado y producido por productos traídos y mantenidos en el espacio refrigerado;
- ✓ la carga interna: el calor producido por fuentes internas (luces, motores eléctricos y gente que trabaja en el espacio)
- ✓ la carga por infiltración de aire: el beneficio de calor asociado con el aire que entra en el espacio refrigerado;
- ✓ la carga relacionada con el equipo.

Los cuatro primeros tipos de carga constituyen la carga de calor neta que el sistema de refrigeración debe proporcionar; el quinto consiste en todas las ganancias de calor que genera el equipo de refrigeración. Así, la ganancia de calor neta más junto con la que genera el equipo constituyen la carga de refrigeración total para la cual un compresor debe ser seleccionado.

4.1.1. Carga térmica por transmisión⁵⁴

El beneficio de calor sensible por paredes, piso, y el techo es calculado en estado estable como

$$q = UA\Delta T$$

Dónde:

q = ganancia de calor, W

A = área de la sección exterior, m²

ΔT = diferencia entre la temperatura ambiente exterior e interior, K

El coeficiente global de transferencia de calor U de la pared, el piso, o el techo puede ser calculado por la siguiente ecuación:

$$U = \frac{1}{1/h_i + x/k + 1/h_o}$$

Dónde:

U = coeficiente global de transferencia de calor total, [W/(m² · K)]

x = espesor de la pared, [m]

k = conductividad térmica de calor de la pared, [W/(m · K)]

h_i = conductancia térmica de la superficie interna, [W/(m² · K)]

h_o = conductancia térmica de la superficie externa, [W/(m² · K)]

Un valor de 1.6 para h_i y h_o con frecuencia es usado para aire quasiestático. Si la superficie externa es expuesta al viento de 25 kilómetros/h, h_o es aumentado a 6.

⁵⁴ Puerto, Efraín. *Guía técnica para el Diseño de Cuartos Fríos*. Colombia. Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, Facultad de Ingeniería Mecánica. PDF. 2010.

Con paredes gruesas y la conductividad baja, la resistencia x/k hace la U tan pequeña que $1/h_i$ la y $1/h_o$ tienen poco efecto y pueden ser omitidos del cálculo. Las paredes por lo general son hechas de más que un material; por lo tanto, el valor x/k representa la resistencia compuesta de los materiales. La ecuación siguiente da al Factor de u para una pared con las superficies planas paralelas de materiales 1, 2, y 3:

$$U = \frac{1}{x_1/k_1 + x_2/k_2 + x_3/k_3}$$

La tabla 12 muestra la conductividad térmica de algunos materiales muy utilizados en aislamiento de paredes. Es importante tener en cuenta que estos datos pueden cambiar si se afecta de manera extrema la composición o constitución del material, en dado caso se debe encontrar de manera independiente el valor que se debe utilizar.

Tabla 12. Conductividad Térmica de aislantes para cuartos fríos

Aislante	Conductividad térmica $k, W/(m * K)$
Tablero de poliuretano (R-11 expandido)	0.023 a 0.026
Polisocianuretano, celular (R-141b expandido)	0.027
Poliestireno, extruido (R-142b)	0.037
Poliestireno, expandido (R-142b)	0.037
Tablero de corcho	0.043
Fibra de Vidrio	0.044

Fuente: Guía técnica para el diseño de cuartos fríos Efraín Castellanos

La Tabla 13 lista algunos valores de grosor de pared de poliisocianurato dilatado recomendado por la industria de refrigeración. Este grosor puede ser aumentado para compensar el beneficio de calor causado al incluir componentes como tachones de madera y metálicos, redes de acero con concreto que disminuyen el aislamiento y a su vez reducen la resistencia termal de la pared o la azotea. Las superficies metálicas de paneles prefabricados o aislamientos tienen un efecto insignificante sobre el funcionamiento termal y no tienen que ser consideradas en el cálculo del factor U . En la mayoría de los casos, la diferencia de temperaturas puede ser ajustada para compensar el efecto solar sobre la carga de calor.

Tabla 13. Espesor mínimo de aislamiento

Temperatura del cuarto, °C	Espesor de poliisocianurato Expandido	
	Norte de U.S., mm	Sur de U.S., mm
10 a 16	50	50
4 a 10	50	50
-4 a 4	50	75
-9 a -4	75	75
-18 a -9	75	100
-26 a -18	100	100
-40 a -26	125	125

Fuente: Guía técnica para el diseño de cuartos fríos Efraín Castellanos

Los valores de la Tabla 14 se aplican durante un período de 24 h y son añadidos a la temperatura ambiente cuando se calcula la ganancia de calor por las paredes.

Tabla 14. Descuento por efecto solar

Tipo de superficies típicas	Pared este, K	Pared Sur, K	Pared Oeste K	Tejado K
Superficies Oscuras	5	3	5	11
Empizarrado				
Alquitranado				
Pintado de oscuro				
Superficies de color medio	4	3	4	9
Madera sin pintar				
Ladrillo				
Baldosa Roja				
Cemento Oscuro				
Pinturas rojas, grises o verdes				
Superficies con colores claros	3	2	3	5
Piedra Caliza				
Cemento claro				
Pintura Blanca				

Fuente: Guía técnica para el diseño de cuartos fríos Efraín Castellanos

4.1.1.1. Ganancia de calor por pisos fríos⁵⁵

La ganancia de calor por pisos de losa de hormigón de refrigerador se identifica usando procedimientos desarrollados por Chuangchid y Krarti (2000), quien desarrolló una correlación simplificada de la ganancia de calor de la losa total para refrigeradores basados en resultados analíticos. Los parámetros en la solución incluyen el tamaño de losa y resistencia térmica, resistencia térmica del aislamiento, conductividad térmica del suelo, profundidad de capa freática y temperaturas de aire

⁵⁵ Puerto, Efraín. *Guía técnica para el Diseño de Cuartos Fríos*. Colombia. Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, Facultad de Ingeniería Mecánica. PDF.

interior y exteriores. El procedimiento de diseño acomoda cuatro configuraciones de aislamiento de losa:

- ✓ Losa sin aislamiento
- ✓ Aislamiento uniforme horizontal
- ✓ Aislamiento parcial horizontal
- ✓ Aislamiento del perímetro vertical parcial

La característica de tamaño de losa es expresada como la relación del área A de la losa al perímetro de losa expuesto P . El resultado es una estimación de la media anual y el beneficio de calor de piso de refrigerador de amplitud que, al combinarse, da el calor instantáneo del piso en un tiempo específico del año. Para hallar la variación de la ganancia de calor asociada al piso con respecto al tiempo (t), se utiliza:

$$q(t) = q_m - q_a * \cos[w(t - \Phi)]$$

Dónde:

q_m = Ganancia de calor anual media de la losa del piso, kW

q_a = Amplitud de la ganancia de calor anual media de la losa de piso, kW

Φ = Desfase entre el enfriador de la ganancia de calor baja y variación de la temperatura del aire exterior, días

t = Tiempo, días.

w = Constante para la frecuencia angular anual, 0.0172 rad/días.

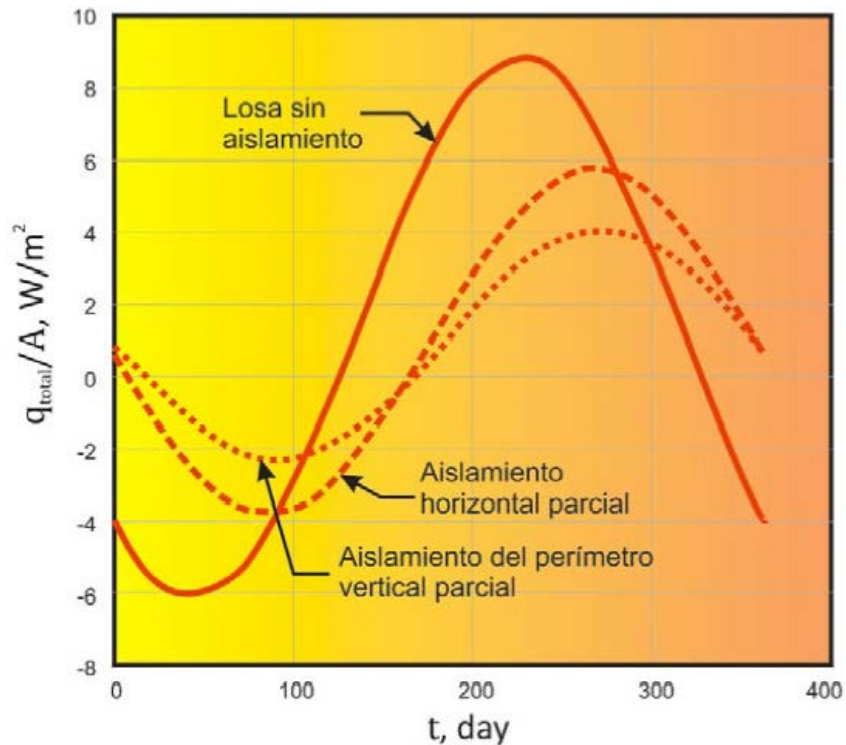
Para las condiciones en la Tabla 15, los resultados para el beneficio de calor de piso de losa de refrigerador son calculados basados en el anterior método. Tal como se muestra en la Figura 31, el beneficio es de calor por que el piso de refrigerador varía considerablemente y puede ser negativo en ciertos momentos del año. La influencia del parcial horizontal y aislamiento "perímetro parcial vertical " sobre el beneficio de calor de piso de refrigerador para la Tabla 15 condiciones puede ser visto en la Figura 31.

Tabla 15. Ejemplo de datos de entrada requeridos para la estimación de la ganancia de calor en pisos fríos

Información requerida	Valor ejemplo
Conductividad térmica del suelo k_s	1.51 W/(m*K)
Difusividad térmica del suelo α_s	$7.12 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
Área total del piso A	10 m x 15 m = 150m ²
Perímetro expuesto P	50 m
Espesor de losa y	100 mm
Resistencia térmica de la losa	0.587 (m ² * K)/W
Resistencia térmica del aislante	3.52 (m ² * K)/W
Longitud del aislante parcial	1 m
Temperatura interior de refrigeración	1.67 °C
Temperatura promedio anual	4.4. °C
Amplitud de la temperatura anual	33.3. K
Profundidad de la tabla de agua	Ignorado (Si la profundidad es mayor a 2 m, el efecto de la tabla de agua puede ser ignorado)

Fuente: Guía técnica para el diseño de cuartos fríos Efraín Castellanos

Figura 31. Beneficio de calor de piso de refrigerador



Fuente: Guía técnica para el diseño de cuartos fríos Efraín Castellanos

La Figura 32 muestra los resultados para la transferencia de calor máxima por unidad el área q_{max}/A por el cálculo donde el frío típico y temperaturas de clima calientes son aplicados. Dan a estas temperaturas exteriores en la Tabla 16. q_{max}/A es la suma del promedio y la amplitud de beneficio de calor por unidad el área y es la tarifa de transferencia de calor máxima que ocurre en algún tiempo durante el año. La influencia de anchura de losa de piso y longitud es capturada por el parámetro A/P . Las anchuras de tanto 10 y 30 m fueron usadas para generar la Figura 31. El hecho que las curvas de q_{max}/A en la Figura 32 se unen para la losa diferente áreas todavía teniendo la misma proporción A/P y la misma amplitud de interior, anual promedio exterior, y anual temperaturas exteriores sugiere que la losa el área no

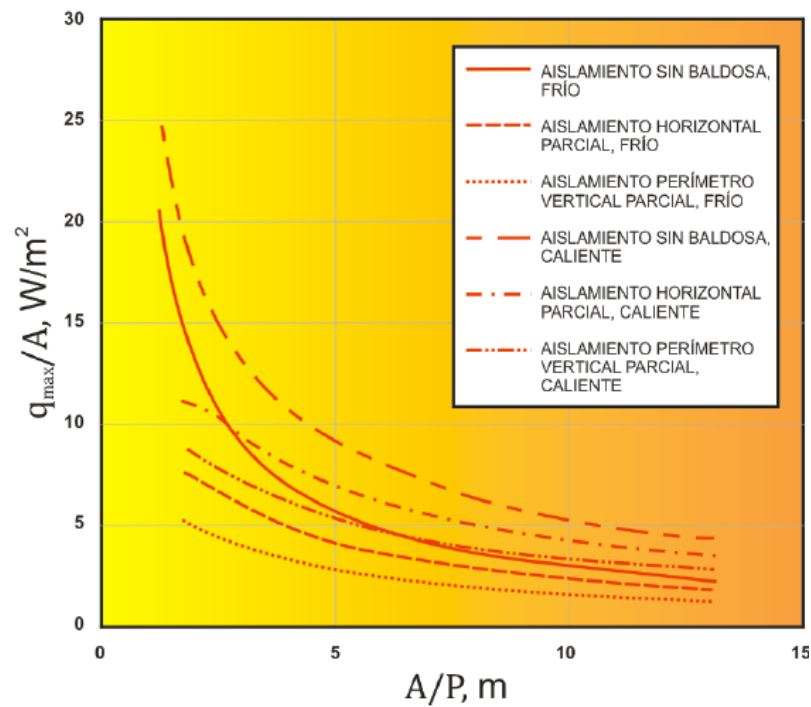
afecta la tarifa de beneficio de calor de losa de piso de refrigerador por unidad de área con superficies de suelo mayor que aproximadamente 100 m^2 .

Tabla 16. Temperaturas medias y amplitudes en entradas de climas fríos y tibios

Temperatura	Clima Frío típico, °C	Clima tibio típico, °C
Temperatura media anual, T_m	4.4	21.1
Amplitud anual, T_α	33.3	16.7

Fuente: Guía técnica para el diseño de cuartos fríos Efraín Castellanos

Figura 32. Transferencia de calor máxima por unidad de área



Fuente: Guía técnica para el diseño de cuartos fríos Efraín Castellanos

4.1.2. Carga térmica del producto⁵⁶

Las cargas de refrigeración primarias de productos traídos y guardados en el espacio refrigerado son (1) el calor que debe ser quitado para traer productos a la temperatura de almacenaje y (2) el calor generado por productos (principalmente frutas y hortalizas) en el almacenaje. La cantidad de calor para ser quitado puede ser calculada de la siguiente manera:

1. Calor quitado para enfriar desde la temperatura inicial hasta alguna temperatura inferior por encima del punto de congelación

$$Q_1 = mc_1(T_1 - T_2)$$

Equacion 1

2. Calor quitado para enfriar desde temperatura inicial hasta el punto de congelación del producto:

$$Q_2 = mc_1(T_1 - T_f)$$

Equacion 2

3. Calor removido para congelar el producto

$$Q_3 = mh_{if}$$

Equacion 3

4. Calor quitado para enfriar desde el punto de congelación hasta la temperatura final debajo de punto de congelación:

$$Q_4 = mc_2(T_f - T_3)$$

Equacion 4

⁵⁶ Puerto, Efraín. *Guía técnica para el Diseño de Cuartos Fríos*. Colombia. Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, Facultad de Ingeniería Mecánica. PDF. 2010.

Dónde:

Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 = Calor removido, kJ

m = Masa del producto, kg

c_1 = Calor específico del producto en estado líquido, kJ/(kg·K)

T_1 = Temperatura inicial del producto en estado líquido, °C

T_2 = Temperatura final del producto en estado líquido, °C

T_f = temperatura de congelación del producto, °C

h_{if} = Calor latente de fusión del producto, kJ/kg

c_2 = Calor específico del producto en estado sólido, kJ/(kg·K)

T_3 = Temperatura final del producto por debajo del punto de congelación, °C

La capacidad de refrigeración requerida para productos traídos en el almacenaje es determinada a partir del tiempo asignado para el retiro de calor y asume que el producto correctamente es expuesto para quitar el calor en aquel tiempo. El cálculo es

$$\bar{q} = \frac{Q_2 + Q_3 + Q_4}{3600n}$$

Equacion 5

Dónde:

\bar{q} = carga promedio de refrigeración, kW

n = tiempo asignado, h

La ecuación 5 solo se aplica para entradas constantes de producto en el almacén. El Anexo A contiene calores específicos por encima y debajo del punto de congelación para muchos productos. El calor latente de un producto debido a la fusión puede ser

estimado multiplicando el contenido de agua del producto (expresado como un decimal) por el calor latente de fusión del agua, que es 334 kJ/kg. La mayor parte de productos de alimentación se congelan entre -3 y -0.5°C. Cuando no se conoce la temperatura exacta de congelación del producto lo mejor es asumir que es -2°C.

Para el cálculo del calor del producto debido a la respiración, este depende del tipo de producto y su temperatura, entre más frío el producto menos calor de respiración. El Anexo B da las tasas de calor de respiración para diferentes productos.

Las ecuaciones 1 a 5 son usadas para calcular la ganancia de calor total. Cualquier humedad quitada aparece como ganancia de calor latente. El usuario final por lo general proporciona la cantidad de humedad supuesta como un porcentaje de masa de producto y de esta forma el calor latente de la ganancia total de calor puede ser determinado. Al restar el componente de calor latente de la ganancia total de calor se determina el componente de calor sensible.

4.1.3. Carga térmica interna⁵⁷

Además del calor transmitido al espacio refrigerado a través de las paredes, infiltración de aire y carga del producto, la ganancia de calor procedente de otras fuentes deberá incluirse para la estimación de la carga de refrigeración total.

4.1.3.1. Motores eléctricos

Puesto que la energía no puede destruirse, sino solo transformarse, cualquier energía eléctrica transmitida a motores ubicados en el interior de un espacio

⁵⁷ Puerto, Efraín. *Guía técnica para el Diseño de Cuartos Fríos*. Colombia. Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, Facultad de Ingeniería Mecánica. PDF. 2010.

refrigerado sufrirá una transformación. Cualquier pérdida del motor motivada por fricción o ineficiencia se traducirá inmediatamente en energía calorífica. La porción de energía eléctrica convertida en esfuerzo útil (por ejemplo para accionar un ventilador o una bomba) existe solo brevemente como energía mecánica, la cual es transferida al medio fluido aumentando su velocidad, y a medida que el fluido pierde su velocidad debido a la fricción, se convierte totalmente en energía de calor.

Por lo común existe la creencia equivocada que si se coloca un motor eléctrico en el exterior de la cámara y el ventilador en el interior, acoplado por medio de una flecha, no se transmite calor al espacio refrigerado. Toda la energía eléctrica convertida en energía mecánica se transforma en energía calorífica.

Las equivalencias en calor de motores eléctricos son catalogadas en la Tabla 17.

Tabla 17. Ganancia de calor de motores eléctricos típicos

Potencia nominal del motor, kW	Tipo de motor	Rpm nominal	Eficiencia del motor con máxima carga, %	Ubicación del motor y el equipo de transmisión respecto a la ráfaga de aire		
				A	B	C
				Motor y equipo de transmisión internos, W	Motor externo y equipo de transmisión interno, W	Motor interno y equipo de transmisión externo, W
0.04	Polo sombreado	1500	35	105	35	70
0.06			35	170	59	110
0.09			35	264	94	173
0.12			35	340	117	223
0.19	Fase partida	1750	54	346	188	158
0.25			56	439	246	194
0.37			60	621	372	249
0.56	Trifásicos	1750	72	776	557	247
0.75			75	993	747	249
1.1			77	1453	1119	334
1.5			79	1887	1491	396
2.2			81	2763	2238	525
3.7			82	4541	3721	817
5.6			84	6651	5596	1066
7.5			85	8760	7178	1315
11.2			86	13009	11192	1820
14.9			87	17140	14913	2230
18.6			88	21184	18635	2545
22.4			89	25110	22370	2765
30			89	33401	29885	3690
37			89	41900	37210	4600
45			89	50395	44829	5538
56			90	62115	55962	6210
75			90	82918	74719	8290
93			90	103430	93172	10342
110			91	123060	111925	11075
150			91	163785	149135	14738
190			91	204805	186346	18430

Fuente: Guía técnica para el diseño de cuartos fríos Efraín Castellanos

4.1.3.2. Personas⁵⁸

El cuerpo humano disipa constantemente calor y humedad. La cantidad de calor depende del tipo de actividad, temperatura, tiempo dentro del cuarto refrigerado, etc. La carga de calor de una persona puede ser estimada como:

$$q_p = 272 - 6T$$

Donde T es la temperatura del espacio refrigerado en °C. La Tabla 18 muestra la carga media de la gente en un espacio refrigerado como el cálculo de la ecuación q_p

Tabla 18. Calor equivalente por ocupación

Temperatura del espacio refrigerado, °C	Calor equivalente/persona, W
10	210
5	240
0	270
-5	300
-10	330
-15	360
-20	390

Fuente: Guía técnica para el diseño de cuartos fríos Efraín Castellanos

⁵⁸ Puerto, Efraín. *Guía técnica para el Diseño de Cuartos Fríos*. Colombia. Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, Facultad de Ingeniería Mecánica. PDF.

4.1.3.3. Luces⁵⁹

Toda energía eléctrica disipada directamente en el espacio refrigerado, como luces, calefactores, etc. Se convierte en calor y debe incluirse en la carga térmica.

Las lámparas de incandescencia invierten una parte de la potencia consumida en producir calor. Los tubos fluorescentes, a causa de la potencia reactiva, producen un 30% más, por lo que no se suelen utilizar en cámaras frigoríficas.

Estas dependen del nivel lumínico proyectado en el recinto frigorífico y del tiempo de utilización. Generalmente el nivel lumínico será bajo entre 20 y 60 luces por lo que la potencia instalada será del orden de $1-12 \frac{w}{m^2}$

4.1.4. Carga térmica por filtración del aire

Cualquier cantidad de aire que penetre en el espacio refrigerado debe reducirse a la temperatura de almacenamiento, aumentando de este modo la carga de refrigeración. Además, en caso de que el contenido de humedad del aire que ha penetrado, sea superior que el existente en el espacio refrigerado, el exceso de humedad se condensara y el calor latente de la condensación se añadirá a la carga de refrigeración.

Debido a los muchos factores variables resulta difícil calcular con exactitud la ganancia de calor adicional motivada por la infiltración de aire. Sin embargo, se han desarrollado métodos basados en la experiencia para determinar esta carga de refrigeración. Estos métodos de estimación están sujetos a posible error y

⁵⁹ Puerto, Efraín. *Guía técnica para el Diseño de Cuartos Fríos*. Colombia. Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, Facultad de Ingeniería Mecánica. PDF.

aplicaciones específicas pueden variar grandemente con relación a la ganancia de calor real encontrada.

4.1.4.1. Método de estimación por cambio de aire

Siempre que la puerta de una cámara de refrigeración es abierta, cierta cantidad de aire caliente del exterior entrará a la cámara. Este aire deberá ser enfriado a la temperatura de la cámara refrigerada, resultando una considerable fuente de ganancia de calor. Esta carga es algunas veces llamada carga de infiltración. El número probable de cambios de aire por día y el calor que debe ser removido por cada pie cúbico de aire infiltrado, se muestran en las tablas basadas en la experiencia (ver tablas 19 y 20) (para uso pesado la infiltración puede ser del doble o más).

Tabla 19. Cambios de aire promedio en 24 horas para cuartos de almacenamiento

Cambios de aire promedio en 24 horas para cuartos de almacenamiento arriba de 32°F (0°C) debido a la apertura de puertas e infiltración					
Volumen en pies ³	Cambios de Aire en 24 Hrs.	Volumen en pies ³	Cambios de Aire en 24 Hrs.	Volumen en pies ³	Cambios de Aire en 24 Hrs.
200	44.0	2,000	12.0	25,000	3.0
250	38.0	3,000	9.5	30,000	2.7
300	34.5	4,000	8.2	40,000	2.3
400	29.5	5,000	7.2	50,000	2.0
500	26.0	6,000	6.5	75,000	1.6
600	23.0	8,000	5.5	10,0000	1.4
800	20.0	10,000	4.9	15,0000	1.2
1,000	17.5	15,000	3.9	20,0000	1.1
1,500	14.0	20,000	3.5	30,0000	1.0
Cambios de aire promedio en 24 horas para cuartos de almacenamiento abajo de 32°F (0°C) debido a la apertura de puertas e infiltración					
Volumen en pies ³	Cambios de Aire en 24 Hrs.	Volumen en pies ³	Cambios de Aire en 24 Hrs.	Volumen en pies ³	Cambios de Aire en 24 Hrs.
200	33.5	2,000	9.3	25,000	2.3
250	29.0	3,000	7.4	30,000	2.1
300	26.2	4,000	6.3	40,000	1.8
400	22.5	5,000	5.6	50,000	1.6
500	20.0	6,000	5.0	75,000	1.3
600	18.0	8,000	4.3	10,0000	1.1
800	15.3	10,000	3.8	15,0000	1.0
1,000	13.5	15,000	3.0	20,0000	0.9
1,500	11.0	20,000	2.6	30,0000	0.85

Fuente: ASHRAE 2010

Tabla 20. Calor removido de aire del enfriamiento para cuartos de almacenamiento
(BTU por pie³)

Temperatura del cuarto de almacenamiento		Temperatura del aire exterior											
		40°F(4.4°C)		50°F(10°C)		85°F(29.4°C)		90°F(32.2°C)		95°F(35°C)		100°F(37.8°C)	
		Humedad Relativa del Aire Exterior. %											
°F	°C	70	80	70	80	50	60	50	60	50	60	50	60
55	12.8	—	—	—	—	1.12	1.34	1.41	1.66	1.72	2.01	2.06	2.44
50	10.0	—	—	—	—	1.32	1.54	1.62	1.87	1.93	2.22	2.28	2.65
45	7.2	—	—	—	—	1.50	1.73	1.80	2.06	2.12	2.42	2.47	2.85
40	4.4	—	—	—	—	1.69	1.92	2.00	2.26	2.31	2.62	2.67	3.65
35	1.7	—	—	0.36	0.41	1.86	2.09	2.17	2.43	2.49	2.79	2.85	3.24
30	-1.1	0.24	0.29	0.58	0.66	2.00	2.24	2.26	2.53	2.64	2.97	2.95	3.35
25	-3.9	0.41	0.45	0.75	0.83	2.09	2.42	2.44	2.71	2.79	3.16	3.14	3.54
20	-6.7	0.56	0.61	0.91	0.99	2.27	2.61	2.62	2.90	2.97	3.35	3.33	3.73
15	-9.4	0.71	0.75	1.06	1.14	2.45	2.74	2.80	3.07	3.16	3.54	3.51	3.92
10	-12.2	0.85	0.89	1.19	1.27	2.57	2.87	2.93	3.20	3.29	3.66	3.64	4.04
5	-15.0	0.98	1.03	1.34	1.42	2.76	3.07	3.12	3.40	3.48	3.87	3.84	4.27
0	-17.8	1.12	1.17	1.48	1.56	2.92	3.23	3.28	3.56	3.64	4.03	4.01	4.43
-5	-20.6	1.23	1.28	1.59	1.67	3.04	3.36	3.41	3.69	3.78	4.18	4.15	4.57
-10	-23.3	1.35	1.41	1.73	1.81	3.19	3.49	3.56	3.85	3.93	4.33	4.31	4.74
-15	-26.1	1.50	1.53	1.85	1.92	3.29	3.60	3.67	3.96	4.05	4.46	4.42	4.86
-20	-28.9	1.63	1.68	2.01	2.00	3.49	3.72	3.88	4.18	4.27	4.69	4.66	5.10
-25	-31.7	1.77	1.80	2.12	2.21	3.61	3.84	4.00	4.30	4.39	4.80	4.78	5.21
-30	-34.4	1.90	1.95	2.29	2.38	3.86	4.05	4.21	4.51	4.56	5.00	4.90	5.44

Fuente: ASHRAE 2010

4.1.5. Carga térmica relacionada al equipo

Las ganancias de calor asociadas con la operación del equipo de refrigeración consisten esencialmente en las siguientes:

- Calor debido a la ventilación del motor cuando existe aire forzado que circula por su uso.
- Calor por unidades de control de humedad ubicadas en el interior del cuarto frío.

- Calor por resistencias de derretimiento ubicadas para mantener los dispositivos sin escarcha.

El calor debido a la ventilación del motor debe ser calculado basado en la energía eléctrica real consumida durante la operación. Los álabes del ventilador son montados en la corriente de aire por encima de muchas unidades aprovechando que el aire frío amplía el rango de potencia del motor. Por ejemplo, un motor estándar en un congelador a -23°C maneja satisfactoriamente en una sobrecarga del 25 % respecto a su promedio. La ganancia el calor por los ventiladores debería estar basado en el tiempo de carrera real.

Generalmente, los ventiladores de unidades de refrigeración operan continuamente excepto durante el periodo de descongelamiento. Sin embargo, los ventiladores pueden seguir funcionando sin importar si el control de temperatura funciona, y de esta manera ahorrar energía.

Cole (1989) describió y cuantificó la carga de calor asociada con descongelar a base de gas caliente. Otros métodos muy usados son resistencias eléctricas o agua.

Generalmente, la ganancia de calor de una unidad de refrigeración con resistencia eléctrica es mayor que la misma unidad descongelada con aire caliente; y la ganancia por descongelar con agua es aún menor. La humedad que se evapora en el espacio durante la descongelación también debe ser añadida a la carga de refrigeración.

Algo del calor de descongelación es añadido sólo al refrigerante, y el resto es añadido al espacio. Para una selección exacta del equipo de refrigeración, una distinción debería ser hecha entre las cargas de calor de equipo que están en el espacio refrigerado y aquellos que son instalados directamente al fluido refrigerante.

La ganancia de calor de equipo es por lo general pequeño en espacios de temperaturas por encima de aproximadamente -1°C . Donde cargas de calor u otras cargas artificiales no son incluidas, la ganancia de calor de equipo total es aproximadamente el 5 % o menos de la carga total. Sin embargo, la ganancia de calor que el equipo hace primordialmente de la carga total en temperaturas de congelador. Por ejemplo, a -30°C la contribución teórica a la carga de refrigeración total del de la potencia del ventilador y la resistencia que descongela solo puede exceder, para muchos casos, el 15 % de la carga total (asumiendo un apropiado control de descongelamiento para que éste espacio no sea calentado en exceso).

El proyecto de investigación ASHRAE RP-1094 (Sherif et al. 2002) encontró que, donde la humedad excesiva persiste durante la operación de congelamiento normal y/o el aire en el refrigerador se hace sobresaturado durante un período amplio de tiempo, análogamente más ganancia por la resistencia eléctrica de descongelación debe ser incluido en la carga de refrigeración. La humedad excesiva y el aire sobresaturado ocurren cuando no se toma un buen cuidado en la prevención de la infiltración de aire en el congelador y/o si se utiliza una diferencia muy alta de temperatura (DT) en la resistencia eléctrica. La DT de la resistencia es la diferencia que hay entre la temperatura del aire que circula cerca de la resistencia, y del refrigerante que circula por el ducto dentro de la resistencia. La DT en la resistencia generalmente ocurre por el aumento de temperatura de aire que circula, la temperatura del refrigerante decae, o ambos eventos. La temperatura del refrigerante disminuye como una respuesta natural de los dispositivos de refrigeración debido al aumento en la temperatura del aire del congelador. Las temperaturas de aire usualmente se elevan por la acumulación de escarcha en la resistencia eléctrica, causando la disminución de la eficiencia de la resistencia en la transferencia de calor. A su vez, la acumulación de escarcha ocurre si se permite el ingreso de aire sobresaturado a la instalación. Sherif et al. (2002) sugiere unas directrices para evitar esta reacción en cadena de eventos usando la curva de saturación de la carta psicométrica como una guía para seleccionar la combinación

de temperatura entre el aire de la resistencia y el refrigerante, y la media de calor sensible para una temperatura del congelador dada. El estudio impuso límites superiores a la DT de la resistencia aceptables para las variables establecidas anteriormente. En casos donde la humedad excesiva y/o el aire sobresaturado son permitidos durante un largo periodo en el momento de refrigeración del ciclo refrigeración/descongelación (R/D), el estudio recomienda que la contribución en el descongelamiento debido al ventilador sea aumentada desde 15 % hasta un 30 %, dependiendo el grado de sobresaturación y que tanto tiempo haya durado éste en el congelador.

4.1.6. Otro tipo de cargas

Cuando la carga de refrigeración es calculada, la forma más conservadora de acercamiento se utiliza para calcular cada dato con su valor más alto esperado. El resultado combinado puede sobreestimar la carga real total desde un 20 a 50 %.

La razón de tales sobreestimaciones es que, generalmente, todas las cargas no ocurren al mismo tiempo en el día. Además, cuando esto ocurre muchas de ellas no alcanzan siempre su valor máximo. La consecuencia es que a menudo el equipo instalado para refrigerar la planta es de un gran tamaño. Parte del equipo no va a funcionar, y si lo hace, no va a ser muy eficiente.

Un acercamiento riguroso es usar el método de cálculo de carga de hora-a-hora. Hace unos años, cuando la mayoría de los cálculos de carga eran hechos a mano, este procedimiento era tedioso, de mucha diligencia, y por lo tanto, muy poco usado. La llegada de muchos programas de computador que realizan estos cálculos alivia la tarea.

Es necesario, sin embargo, tener datos amplios de las consideraciones de la instalación y una información para el ordenador muy completa y precisa en cuanto a la magnitud de la carga y el tiempo de efecto de la misma. Ballard (1992) describe el procedimiento. Otro método, usado por ingenieros experimentados, es de usar un factor de diversidad.

Basado en el análisis de los datos de carga y un entendimiento de que tan frecuente cada elemento de la carga sucederá, el diseñador a menudo aplicará un factor en los límites de 0.7 a 0.85 a la carga total final calculada. Aquel resultado es la carga con que se basa la selección del equipo.

4.2. EMPAQUE Y EMBALAJE

En el cálculo de un cuarto frío no solo es importante dar un número arbitrario de producto a almacenar. En épocas anteriores era común almacenar el producto sin protegerlo, por ejemplo, si se almacenaban naranjas, simplemente se almacenaba la canasta con toda la fruta en su interior y algunas veces sin ser lavada previamente. Esto no ayudaba en nada en el proceso de refrigeración, ya que, aunque las bajas temperaturas disminuyen la tasa de crecimiento de bacterias, de nada sirve si no se evita y erradica cualquier agente contaminante en la fruta. Las técnicas de empaque y embalaje no solo permiten refrigerar un producto de manera higiénica, sino que también permiten calcular la masa de fruta que se está refrigerando. El tener un empaque y embalaje en la fruta también implica cálculos de carga, cuando las paletas, cajas, u otros materiales de embalaje son una parte significativa de la masa total introducida, esta carga de calor deberá ser calculada.

4.2.1. Definición de términos⁶⁰

En el transporte y cuidado de los alimentos, se utilizan unos términos para referirse al medio en que los productos están protegidos, es importante conocer estos términos para diferenciar del uno al otro y conocer el método de protección que ellos ofrecen.

4.2.1.1. Empaque

El empaque es el primer paso en la protección del producto, se puede dividir en dos etapas: la primera es el envase, el cual es diseñado para guardar una cantidad estándar de producto, por ejemplo, 3 kg, ½ litro, etc.; la segunda etapa es el paquete, el cual es un punto de ensamble entre el envase y el embalaje, el paquete debe tener dimensiones estándar que no varían con el tipo de producto que manejen, en caso de que las dimensiones del paquete, no sean múltiplos de las dimensiones del envase, se hace necesario rellenar esos espacios con divisiones que complementen estos espacios.

4.2.1.2. Embalaje

El embalaje es el paso final en el proceso en protección de un producto, su búsqueda es el transporte de empaques, el embalaje también se clasifica en varios procesos, el primero puede ser de muchos tipos: caja, canasta, bolsa, bidones, etc. Su objeto es agrupar un número estándar de paquetes y envases. El segundo se conoce como unidad de carga, y permite la agrupación de embalajes de primer orden de manera que se puedan transportar en contenedores más grandes de forma análoga al envase con el paquete.

⁶⁰ Puerto, Efraín. *Guía técnica para el Diseño de Cuartos Fríos*. Colombia. Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, Facultad de Ingeniería Mecánica. PDF. 2010.

4.2.1.3. Packaging

La forma de empacar y embalar productos junto con los distintos sistemas y métodos de protección y contención se conoce como packaging. En el empaque y embalaje se buscan cinco objetivos: contener, proteger, conservar, facilitar almacenamiento y distribución, y dar una buena imagen de mercadeo. Algunos aspectos de importancia para seleccionar un material de empaque y embalaje se aprecian en la Tabla 21.

Tabla 21. Aspectos importantes al seleccionar un material de empaque y embalaje

Aspectos importantes al seleccionar un material de empaque y embalaje	
Aspecto	Descripción
Compatibilidad con el producto a contener	El material no debe interactuar con el producto a contener ni modificar sus características. Así mismo, el producto contenido no debe afectar las características del material y hacerle variar sus propiedades. Los alimentos no deben tomar olores o sabores del material del empaque que los contiene.
Resistencia mecánica	Dependiendo del producto, el material debe ser resistente a la tracción, a la compresión, al desgarre, a la fricción, al impacto o a la penetración. Algunos alimentos debido a su fragilidad, requieren de materiales de empaque que sean resistentes a la compresión y al impacto.
Propiedades de protección	Dependiendo de las características del producto se requerirá de impermeabilidad a gases, al agua, a la humedad; aislamiento térmico; intersección a los rayos ultravioleta y aislamiento de la luz y de insectos. En alimentos se requieren materiales con características específicas de impermeabilidad
Propiedades de estabilidad	Se refiere a la aptitud del empaque para no presentar modificaciones de su estructura debido al contacto con el producto o con agentes externos. Algunos materiales de empaque presentan cambios en su estructura al pasar de unas condiciones a otras.
Operacionabilidad	Se refiere a la aptitud del material para ser operado dentro de una línea de empackado.
Conveniencia	Se refiere a las características que hacen que un empaque sea el ideal para un determinado producto. Aspectos como el peso, la ergonomía y la durabilidad, entre otros, deben ser considerados al seleccionar un material. Los productos que no se consumen completamente una vez abiertos y que pueden permanecer empackados por mucho tiempo, requieren de un empaque cuyo material de empaque sea duradero.
Aspectos mercadológicos	Facilidad de impresión, brillo, transparencia o claridad. Algunos productos requieren ser vistas por el cliente final antes de la compra, por lo cual es preferible el uso de empackes transparentes o con ventanas que permitan apreciar el producto.
Aspectos económicos	Costos de materiales, de almacenamiento, de producción. Un material de empaque determinado puede tener un costo tal que su utilización, para un producto, sea poco rentable.

Aspectos legales

Legislación y normativa vigente en cuanto al uso de materiales de empaque en los países de destino.

Disponibilidad y factibilidad del proceso

Se debe considerar la disponibilidad de proveedores de los materiales de empaque a seleccionar. Si se selecciona un material de empaque de difícil consecución, es posible, que el exportador no pueda cumplir con entregas por no disponer de material de empaque. Igualmente se debe considerar la factibilidad del proceso requerido para producir el empaque.

Fuente: Guía técnica para el diseño de cuartos fríos Efraín Castellanos

4.2.2. Tipos de embalaje

El embalaje no siempre termina en el embalaje secundario, sin embargo, órdenes mayores de embalaje dependen más del uso y las principales características del producto (sin importar si es un alimento u otro tipo de producto). El embalaje muchas veces va a combinar empaques que contienen distintos productos pero que bajo ciertas condiciones se pueden mezclar. En los alimentos es importante no mezclar frutas y hortalizas generadoras de etileno, con las que son sensibles al etileno. Además hay que tener en cuenta el factor de compresión del embalaje primario para el ordenamiento de más rígido a menos rígido. La Tabla 22 muestra los distintos tipos de embalaje que un diseñador puede seleccionar.

Tabla 22. Tipos de embalaje

Tipos de embalaje		
Tipos de embalajes	Principales características	Usos
Cajas de cartón	<ul style="list-style-type: none"> Se fabrican a partir de cartón corrugado Son fácilmente adaptables a todos los modos de transporte: tierra, mar, aire. Se pueden adaptar para productos líquidos y semilíquidos, mediante el sistema de bolsas en caja (bags in box) 	<p>Permiten el agrupamiento de productos que tienen formas distintas en una forma geométrica, homogénea, sencilla y estable. Se emplean para el embalaje de:</p> <ul style="list-style-type: none"> Frutas y hortalizas frescas. Electrodomésticos, maquinaria industrial y productos a granel. Empaques primarios de alimentos

Embalajes de madera	<ul style="list-style-type: none"> • Presentan buena resistencia a la flexión, a la compresión y al impacto. • La densidad, humedad y dureza de la madera afectan la calidad de los embalajes. • Su utilización está sujeta a restricciones medioambientales. • Los principales embalajes de madera son las cajas y estibas 	<p>Son muy utilizadas para la exportación de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mercancía pesada como maquinaria y electrodomésticos. • Mercancía muy frágil como los productos de vidrio y artesanías.
Sacos	<ul style="list-style-type: none"> • Se fabrican a partir de materiales plásticos y materiales naturales como la fibra de yute y el papel. • Se pueden combinar con otros materiales flexibles, mejorando sus propiedades. • El uso de sacos a partir de materiales naturales está sujeto a restricciones fitosanitarias. 	<ul style="list-style-type: none"> • Frutas y hortalizas. • Abonos, productos químicos • Café • Carbón
Sacos jumbo (Big-bags)	<ul style="list-style-type: none"> • Son fabricados a partir de material plástico tejido. • Requieren de sistemas mecánicos para su manipulación. Los hay de carga pesada, carta estándar y de un solo uso. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se emplean para la distribución a granel de materiales sólidos en forma de polvo, gránulos o pasta
Garrafas	<ul style="list-style-type: none"> • Son elaborados en vidrio, aunque también se fabrican en metal, cerámica o plástico. • Requieren materiales de amortiguamiento para ser usados como embalaje de transporte 	<ul style="list-style-type: none"> • Se emplean para el transporte de líquidos
Tambores o bidones	<ul style="list-style-type: none"> • Son de forma cilíndrica, fabricados en acero, plástico o cartón. Su capacidad oscila entre los 10 y 240 litros. 	<ul style="list-style-type: none"> • Transporte a granel de alimentos en estado líquido o pastoso: pulpas de frutas. • Productos químicos y mercancías peligrosas
Jerry can o cuñete	<ul style="list-style-type: none"> • Pueden ser de metal o plásticos. Alcanzan una capacidad hasta de 5 galones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gasolina y líquidos similares
Toneles	<ul style="list-style-type: none"> • Embalajes cilíndricos fabricados a partir de madera 	<ul style="list-style-type: none"> • Vino, whisky, cerveza y otras bebidas alcohólicas.

Fuente: Guía técnica para el diseño de cuartos fríos Efraín Castellanos

4.2.3. Paletización

El concepto de paletización busca organizar un conjunto de objetos que individualmente son complicados de manejar debido a su peso o volumen, de manera que se puedan manipular y transportar fácilmente en el menor tiempo posible. Al momento de paletizar se debe considerar los siguientes aspectos:

- Los embalajes de primer orden que vayan a ser paletizados deben tener dimensiones parecidas.
- La superficie de la estiba debe ser en lo posible ocupada en su totalidad para evitar concentraciones de peso.
- En embalajes de cajas es mejor que estas se acoplen de manera lineal, trate de que los bordes de todas las cajas formen líneas continuas sin formar perfiles tipo pared de ladrillo. Esto busca utilizar de forma óptima la resistencia vertical de la caja.
- El área de la estiba siempre debe contener al área formada por el embalaje primario, en lo posible evite efectos tipo voladizo.
- No forme espacios vacíos entre los embalajes primarios.
- Es preciso hacer uso de los flejes metálicos o plásticos a modo zunchos complementados con películas plásticas retráctiles o con películas extensibles que consoliden la unidad y le den plena seguridad durante la manipulación.
- Es necesario el uso conveniente de elementos que aumenten el factor de fricción entre capas de cajas; se sugiere emplear en forma moderada ceras o adhesivos aplicados por puntos, o bien, hojas antideslizantes.

4.2.4. Normalización y especificaciones de embalajes de transporte para la comercialización internacional

A diferencia del empaque, existen normas internacionales para el embalaje de productos, la norma que sobresale es la ISO 3394. En ésta norma se especifican valores máximos de dimensiones para los embalajes, básicamente se resume en tres partes:

- Las cajas que forman el embalaje primario deben tener dimensiones de 0.6 x 0.4 m, se pueden utilizar dimensiones mayores o menores siempre y cuando sean múltiplos de las primeras.

- Las estibas utilizadas para transporte aéreo deben tener dimensiones de 1.2 x 8 m y no deben sobrepasar 1.65 m de altura.
- Las estibas utilizadas para transporte marítimo y terrestre deben tener dimensiones de 1.2 x 1 m y no deben sobre pasar 2.05 m de altura.

4.2.5. Contenedores

En el último sistema de embalaje de transporte se encuentra el contenedor, se podría decir que es una celda diseñada específicamente para transporte de cargas pesadas. Ya sean aviones, barcos o tractocamiones. Los contenedores están estandarizados, pero debido a que las principales empresas constructoras de estos dispositivos son americanas y europeas, sus medidas son basadas en pies (ft). Un contenedor no demanda refrigeración, pero existen contenedores con su propio sistema de refrigeración. La tabla 23 muestra las dimensiones y características de los contenedores refrigerados de mayor utilización en el embalaje de transporte.

Tabla 23. Propiedades de los contenedores

Tipo de contenedor	Peso contenedor vacío, kg	Carga Máxima, kg	Máximo Peso Bruto, kg	Dimensiones Internas			Dimensiones con puerta abierta		Capacidad volumétrica, m ³
				Largo, m	Ancho, m	Altura, m	Ancho, m	Altura, m	
<i>Contenedor refrigerado de 20 ft</i>	3080	27400	30480	5.444	2.268	2.272	2.276	2.261	28.1
<i>Contenedor refrigerado de 40 ft</i>	4800	27700	32500	11.561	2.280	2.249	2.280	2.205	59.3
<i>Contenedor refrigerado High Cube</i>	4850	29150	34000	11.561	2.268	2.553	2.276	2.501	67

Fuente: Guía técnica para el diseño de cuartos fríos Efraín Castellanos

4.2.6. Empaque de frutas y hortalizas

En el empaque de frutas y hortalizas es muy importante basarse en la forma, la rigidez, la fragilidad, la producción de etileno, y la vida media de la fruta bajo condiciones óptimas de refrigeración. Si unimos los factores de empaque y embalaje se puede conocer la densidad de embalaje la cual se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$\rho_E = F_v F_e F_1 F_2 \rho_P$$

Ecuación 6

Dónde:

ρ_E = densidad del embalaje, kg/m³

F_v = factor en envase

F_e = factor de paquete

F_1 = factor de embalaje primario

F_2 = factor de embalaje secundario

ρ_P = densidad del producto

La densidad de embalaje es muy útil al momento de realizar cálculos en el diseño de un cuarto frío, ya que a la hora de la verdad no todo el cuarto se ocupará de masa de producto, en caso de que se incluya la masa de los empaques y embalajes se debe realizar la misma operación:

$$m_E = (m_v + m_e + m_1 + m_2)N_p$$

Ecuación 7

Dónde:

m_E = masa de embalaje, kg

m_v = masa de envase, kg

m_e = masa de paquete por unidad de envase, kg

m_1 = masa de embalaje primario por unidad de envase, kg

m_2 = masa de embalaje secundario por unidad de envase, kg

N_p = cantidad total de envases

El cálculo del calor específico y latente es un promedio por masa, como se conoce la masa de embalaje, se tiene que:

$$C_{l,s} = \frac{C_{l,s,v}m_v + C_{l,s,e}m_e + C_{l,s,1}m_1 + C_{l,s,2}m_2}{m_E}$$

Ecuación 8

Dónde:

$C_{l,s}$ = calor específico de embalaje

$C_{l,s,v}$ = calor específico de envase

$C_{l,s,e}$ = calor específico de paquete

$C_{l,s,1}$ = calor específico de embalaje primario

$C_{l,s,2}$ = calor específico de embalaje secundario

4.3. Selección del equipo de refrigeración⁶¹

Cuando la carga térmica por hora ha sido determinada, se puede proceder a seleccionar el equipo basado en la información obtenida del trabajo inicial de reconocimiento, algunos otros factores afectan la selección del equipo, como son:

⁶¹ *Manual de Ingeniería*. BOHN, Grupo Frigus Therme, 2005.

- Balance del equipo
- Diferencial de temperatura (DT)
- Control de capacidad / seguridad del producto
- Tipo de operación / flujo de aire

4.3.1. Balance del Equipo⁶²

La unidad condensadora es la unidad que se selecciona primero, para tener la capacidad mayor a la carga térmica calculada de refrigeración o congelación. El evaporador se debe seleccionar para balancear la capacidad de la unidad condensadora.

La capacidad de la unidad condensadora debe ser seleccionada a una temperatura de succión la cual será balanceada con el evaporador a un diferencial de temperatura entre el refrigerante en el evaporador y el aire en la cámara de almacenamiento refrigerada. La capacidad de la unidad condensadora también deberá seleccionarse a una temperatura de condensación correspondiente al aire ambiente o agua del medio de condensación a la temperatura disponible en el lugar de trabajo.

4.3.2. Diferencial de Temperatura⁶³

Para el cálculo de la diferencia de temperatura se presentan dos casos:

Diferencial de temperatura para Cámaras de Almacenamiento Arriba de 32°F (0°C)

- Diferencial de temperatura para Cámaras de Almacenamiento Arriba de 32°F (0°C).

⁶² *Manual de Ingeniería*. BOHN, Grupo Frigus Therme, 2005.

⁶³ Ibid.

- Diferencial de temperatura para cuartos de almacenamiento abajo de 32°F (0°C).

4.3.2.1. Diferencial de temperatura para Cámaras de Almacenamiento Arriba de 32°F (0°C).

La naturaleza del producto determina la humedad relativa deseable en la cámara de almacenamiento. La humedad relativa deseable en cuestión dictamina el diferencial de temperatura (DT) aproximado entre el aire dentro de la cámara de almacenamiento y el refrigerante en el evaporador.

Para el propósito general del refrigerador, involucrar carnes, vegetales y productos lácteos, es común al proceder para balancear al lado de baja de la unidad condensadora a un diferencial de temperatura de 10°F a 12°F. Se ha aprendido por experiencia que, si se hace esto, se puede esperar que se mantenga una humedad relativa de 80% a 85% en el evaporador, el cual es un buen rango para el almacenamiento en general.

Los requerimientos de humedad relativa baja, permiten un DT mayor el cual permitirá la selección del evaporador con una base menor de capacidades (BTU/hr/DT).

Tabla 24. Diferenciales de temperatura recomendados (DT) para cuatro Clases de productos Alimenticios (Evaporadores de Aire Forzado)

Clase	DT	H.R. APROX.	Descripción de las clases de productos
1	7° – 9°F	90%	Resulta una cantidad mínima de evaporación de la humedad durante el almacenamiento, incluyendo vegetales, productos agrícolas, flores, hielo sin empaque y cuartos para enfriar
2	10° – 12°F	80-85%	Incluye almacenamiento en general y refrigeradores de tiendas de conveniencia, comida y vegetales empacados, frutas y productos similares. Productos que requieren ligeramente menores niveles de humedad relativa que aquellos de la clase 1.
3	12° – 16°F	65-80%	Incluye cerveza, vino, farmacéuticos, papas y cebollas, frutas de cascara dura como son melones y en termino corto productos empacados. Estos productos requieren solo humedades relativas moderadas
4	17° – 22°F	50-65%	Incluye cámaras de preparación y corte, almacenes de cerveza, dulce o almacenaje de películas y diques de carga. Estas aplicaciones necesitan solo bajas humedades relativas o aquellas que no son afectadas por la humedad.

Fuente: Manual de ingeniería BOHN

4.3.2.2. Diferencial de temperatura para cuartos de almacenamiento abajo de 32°F (0°C).⁶⁴

En cuartos a baja temperatura la cantidad de deshidratación de los productos desempacados, es proporcional al DT. Aun cuando la prevención del exceso de deshidratación es importante y a pesar de presentarse disminuciones bruscas en las capacidades de las unidades condensadoras de baja temperatura como es reducida la temperatura de succión, esta es una buena consideración práctica para usar un DT máximo de 10°F.

⁶⁴ *Manual de Ingeniería.* BOHN, Grupo Frigus Therme, 2005.

Los DT pueden obtenerse aproximados mediante una división de la capacidad de la unidad condensadora a la temperatura de succión de saturación deseada (T.S.S.), entre la capacidad del evaporador a 1° DT, por ejemplo:

$$\frac{\text{capacidad de la unidad condensadora a T.S.S}}{\text{capacidad del evaporador a 1°DT}} = DT$$

4.3.3. Seguridad del Producto/Control de la Capacidad⁶⁵

En cuartos fríos más grandes, se recomienda que la carga sea dividida entre el número de unidades. Una carga que requiere una unidad de más de 10 HP debe ser dividida para proporcionar al cliente un nivel de confianza por el hecho de una falla mecánica. Además la refrigeración está seleccionada como el 1% del peor acontecimiento del año, múltiples unidades son suministradas para algún control de la capacidad. En situaciones de carga baja algunas unidades puedan ser desactivadas y el cuarto o cámara mantenerse adecuadamente con un porcentaje de la potencia necesaria para el funcionamiento en verano. Múltiples unidades al inicio también representan bajar la demanda de cargas que se reflejará favorablemente en la utilidad de la compañía al rendirse el gasto monetario de sus clientes en el consumo eléctrico.

4.3.4. Tipo de Operación Flujo de Aire⁶⁶

Dos importantes consideraciones en la selección y ubicación del evaporador son distribución uniforme y velocidad del aire, las cuales son compatibles con la aplicación en particular.

⁶⁵ *Manual de Ingeniería*. BOHN, Grupo Frigus Therme, 2005.

⁶⁶ *Ibid.*

La dirección del aire y el tiro de aire deben ser de tal forma que haya movimiento en donde se dé una ganancia de calor; esto se aplicara a las paredes de la cámara, techo además del producto. El evaporador debe contar con el arreglo para dirigir la descarga del aire a cualquier puerta o apertura, si todo esto es posible. Evitar ubicar el evaporador en una posición cercana a una puerta donde esto pueda ocasionar una infiltración adicional dentro de la cámara; esto puede ocasionar un escarchado en el ventilador y una condición conocida como escarcha. También evitar la ubicación del evaporador en las corrientes de aire de otro evaporador porque pueden presentarse dificultades para el deshielo.

Para los refrigeradores y conservadores en congelación en general, no hay un criterio para la velocidad del aire dentro de la cámara, el total del aire suministrado es aproximadamente de 40 a 80 cambios de aire que ocurren cada hora. Este es un término de aire acondicionado el cual se calcula como sigue:

$$\text{Cambios de aire} = \frac{(Cfm^* \text{ totales}) \times 60}{\text{volumen interno de la cámara}}$$

*Incluyen todos los evaporadores y ventiladores auxiliares

La ecuación descarta el movimiento del aire que es inducido por la descarga de aire del evaporador. Para simplicidad, el mayor volumen de la cámara es usado sólo si el producto y el equipo ocupan más del 10% del volumen. Aplicaciones específicas tales como cámaras de corte y cámaras de maduración de plátano tiene límites deseados. La tabla mostrada abajo indica las cantidades mínimas y máximas de aire para aplicaciones particulares.

Tabla 25. Cambios de aire recomendados por hora

Tipo de aplicación	Numero de cambios de aire recomendado	
	Mínimo	Máximo
Conservación en congelación	40	80
Conservación al refrigeración	40	80
Cámaras de corte	20	30
Cámaras de enfriamiento de carne	80	120
Maduración de plátano	120	200
Almacenamiento de frutas y vegetales	30	60
Túneles de congelación rápida	150	300
Salas de proceso	20	30
Almacenamiento de carne sin empacar	30	60

Fuente: Manual de ingeniería BOHN

4.3.5. Factores de Reducción⁶⁷

En la selección de los equipos de refrigeración se debe tener en cuenta que la capacidad de los equipos tienen capacidades basadas en ciertos criterios. Procurar tener cuidado para determinar las condiciones de trabajo actual y los factores propios de disminución que deben ser aplicados. Estos factores pueden variarse por el fabricante pero pueden ser usados aquí como regla de aproximación empírica.

4.3.5.1. Ambiente⁶⁸

El ambiente de la unidad condensadora es el concerniente al equipo generalmente catalogado a la temperatura ambiente de 90° a 95°F.

- La unidad condensadora disminuye su capacidad 6% por cada 10°F de incremento en la temperatura ambiente de operación.

⁶⁷ *Manual de Ingeniería.* BOHN, Grupo Frigus Therme, 2005.

⁶⁸ *Ibid.*

- La unidad condensadora incrementa su capacidad 6% por cada 10°F de disminución en la temperatura ambiente de operación.

4.3.5.2. Altitud⁶⁹

La mayoría de los fabricantes consideran sus equipos a las condiciones a nivel del mar. Un incremento en la altitud resulta en una disminución de la densidad del aire. Mientras que los ventiladores trabajan en control directo con el equipo entregando un flujo volumétrico constante (pie³/min) de aire sin tomar en cuenta la densidad, la ligereza del aire afectará la capacidad de funcionamiento. Los equipos accionados por bandas pueden ser acelerados a una cierta amplitud sin exceder la sobrecarga del motor para compensar la disminución en la densidad del aire.

⁶⁹ *Manual de Ingeniería*. BOHN, Grupo Frigus Therme, 2005.

Tabla 26. Efectos de la altitud en los equipos refrigerados por aire

Altitud Sobre el Nivel de Mar (pies)	Presión Absoluta		Densidad de Aire Estándar a 70 °F lbs/pie ³	Den- sidad de Aire Pro- me dio	Multiplicadores de Capacidad	
	Pulg.Hg	PSIA			Ventiladores de Accionamiento Directo	
					Evaporador para Refrigeración	Unid. Conden. Enfriadas por Aire
1,000	31.02	15.27	.0778	1.04	1.03	1.005
500	30.47	14.97	.0763	1.02	1.02	1.002
0	29.92	14.70	.0749	1.00	1.00	1.00
500	29.38	14.43	.0735	0.98	0.98	0.995
1,000	28.86	14.28	.0719	0.96	0.97	0.998
2,000	27.82	13.67	.0697	0.93	0.94	0.985
3,000	26.81	13.27	.0671	0.90	0.91	0.98
4,000	25.84	12.70	.0647	0.86	0.875	0.975
5,000	24.89	12.23	.0623	0.83	0.85	0.969
6,000	23.98	11.78	.0600	0.80	0.82	0.960
7,000	23.09	11.34	.0578	0.77	0.79	0.955
8,000	22.22	10.92	.0556	0.74	0.76	0.946
9,000	21.38	10.50	.0535	0.71	0.73	0.939
10,000	20.58	10.11	.0515	0.69	0.71	0.93
12,000	19.03	9.35	.0477	0.64	0.66	0.91
14,000	17.57	8.63	.0439	0.59	0.61	0.88

Fuente: Manual de ingeniería BOHN

4.3.5.3. Factores de Corrección para Temperatura de Succión⁷⁰

Tener precaución en la selección del evaporador, especialmente los modelos de los congeladores. No se tiene condiciones estándar establecidas por la industria para el criterio de las clasificaciones. El número del modelo de un evaporador de baja temperatura puede ser determinado a -30°F TSS, -20°F TSS, -10°F TSS, 0°F TSS o también + 10 TSS. La diferencia de capacidades entre -30° TSS y +10° TSS puede ser de 15% mayor para los evaporadores de capacidad nominal menor. La mayoría

⁷⁰ Manual de Ingeniería. BOHN, Grupo Frigus Therme, 2005.

de los fabricantes proporcionan un factor de corrección en la temperatura de succión para sus evaporadores y este debe ser considerado en la selección de los equipos.

4.3.5.4. Potencia a 50 Ciclos⁷¹

En una población global la oportunidad para cotizar un equipo de refrigeración es algo que no debe ser ignorado. Los motores que son dimensionados para 60 ciclos de operación girando a 83% (50/60) de velocidad a 50 ciclos de funcionamiento. Los compresores generan sólo 5/6 de su capacidad. Sin embargo, mientras los ventiladores están girando a 83% de velocidad, ocurre una disminución en la presión estática a través del condensador o evaporador y el rendimiento no sufre el 17% completo de afección. Si el fabricante ha verificado que sus equipos pueden girar a 50 ciclos de potencia, se pueden aplicar entonces los siguientes factores de reducción de la capacidad normal.

- Evaporador y condensador enfriado por aire (capacidad x 0.92)
- Unidades condensadoras enfriadas por aire (capacidad x 0.85)

La capacidad de los sistemas (evaporador y unidad condensadora enfriada por aire) puede ser disminuida por (0.88).

Para seleccionar un equipo de refrigeración después de que ha sido determinada la carga térmica, se debe dividir los BTUH requeridos por (0.88):

BTUH = Conversión para seleccionar equipo de 60 ciclos

$$\frac{BTUH}{0.88} = \text{conversion para seleccionar equipo de 60 ciclos para carga termica de 50 ciclos}$$

⁷¹ Manual de Ingeniería. BOHN, Grupo Frigus Therme, 2005.

Esto proporciona para equipos grandes una compensación necesaria para 50 ciclos del factor de la disminución de capacidad nominal.

4.4. HERRAMIENTA COMPUTACIONAL

El software que se implementó en el desarrollo del presente trabajo está basado en ASHRAE 2010 REFRIGERATION para el cálculo de las cargas térmicas para cuartos frigoríficos.

La herramienta computacional fue desarrollada en el entorno de programación Matlab® haciendo uso de su herramienta de interfaz gráfica GUIDE que facilitó de manera considerable el proceso de diseño de los módulos que presenta el software diseñado.

Los datos que se tuvieron en cuenta en el diseño fueron de dos tipos: los ingresados por el usuario que tienen relación con las características físicas de los componentes del cuarto y los que el programa obtiene de sus bases de datos los cuales se determinan a partir de los primeros.

A partir de los datos anteriores, el programa determina las cargas térmicas del producto seleccionado, cargas por pérdidas que incluyen por infiltración de aire, personas, paredes, luces, equipos y por último selecciona los equipos (unidad condensadora y el evaporador) basados en los catálogos del fabricante BOHN. Cabe destacar que muchos módulos del programa se alimentan con datos de módulos anteriores, por lo que se recomienda que todos los módulos sean usados.

4.4.1. Presentación y uso del software

4.4.1.1. Presentación

La presentación del programa muestra una imagen donde se representa un cuarto frigorífico básico lo que le permite al usuario familiarizarse con los procesos que posteriormente se realizarán en el programa.

La pantalla de “inicio” se muestra en la figura 33. Se debe oprimir el botón “iniciar” para continuar con el proceso.

Figura 33. Pantalla de inicio de la herramienta Computacional



Fuente: Autores.

4.4.1.2. Uso.

El software fue desarrollado de tal manera que el usuario pueda avanzar a través de él con mucha facilidad ya que los módulos se enlazan entre sí y siguen un orden numerado de fácil entendimiento. Los párrafos siguientes pueden ser seguidos para usar la herramienta computacional.

➤ **Módulos.** Una vez se pulsa el botón “*inicia*” en la interfaz de presentación, se despliega la interfaz de “módulos” donde se muestran tres bloques; diseño, selección y resultados como los señalados en la figura 34.

- ✓ El bloque de diseño cuenta con los botones de “carga por enfriamiento” y “cargas por perdidas”. Aquí se realizará todo el proceso de cálculo de cargas térmicas.
- ✓ El bloque de selección cuenta con el botón de “selección de equipos”. Aquí se realizará el proceso de selección de las unidades condensadoras y evaporadores.
- ✓ El bloque de resultados, cuenta con un resumen de todo el proceso de diseño y selección, dándole al usuario una mejor visualización del proceso.

Consta de una serie de botones de los cuales sólo el primero está disponible y los demás se van activando a medida que se van usando los anteriores, forzando al usuario a seguir el proceso de diseño recomendado.

Figura 34. Interfaz de módulos de la herramienta Computacional



Fuente: Autores.

➤ **Enfriamiento de la mercancía.**

Al pulsar el botón “cargas por enfriamiento”, se despliega la interfaz de enfriamiento de la mercancía (Figura 35) donde se debe seleccionar el producto o los productos a refrigerar, tipo de envase y se deben ingresar los datos relacionando a la cantidad, número de productos, temperatura al entrar en el almacén y tiempo de enfriamiento.

Al seleccionar el producto automáticamente se muestra la temperatura ideal del enfriamiento. En caso de querer editar el dato de temperatura de enfriamiento, se debe de seleccionar el botón correspondiente a enfriamiento o congelación e ingresar la temperatura al final del enfriamiento.

Este proceso dará como resultado la carga térmica del producto o los productos seleccionados.

Es importante que se llenen todos los campos requeridos ya que de lo contrario no se podrá continuar con el proceso de diseño.

Figura 35. Interfaz de enfriamiento de la mercancía de la herramienta computacional

The interface is titled 'Enfriamiento_mercancia' and contains the following sections:

- SELECCION DEL PRODUCTO:** A dropdown menu set to 'VEGETALES' and a list of items including ALCACHOFAS ESFERICAS, ALCACHOFAS JERUSALEM, ESPARRAGOS, FRIJOLES VERDES, FRIJOLES LIMA, REMOLACHA, BROCOLI, COLES DE BRUSELA, REPOLLO, ZANAHORIA, COLIFLOR, and NABO.
- CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO:** A list of properties with input fields, all currently set to 0:
 - CONTENIDO DE AGUA [%]
 - TEMPERATURA INICIAL DE CONGELACION [°C]
 - CALOR ESPECIFICO ENCIMA DE LA CONGELACION [kJ/(kg·K)]
 - CALOR ESPECIFICO DEBAJO DE LA CONGELACION [kJ/(kg·K)]
 - CALOR LATENTE DE FUSION [kJ/kg]
 - CALOR DE RESPIRACION [°0] [W/kg]
 - CALOR DE RESPIRACION [°5] [W/kg]
 - CALOR DE RESPIRACION [°10] [W/kg]
 - CALOR DE RESPIRACION [°15] [W/kg]
 - HUMEDAD RELATIVA [%]
 - TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO [°C]
 - DURACION APROXIMADA [DIAS]
- ENFRIAMIENTO DE LA MERCANCIA:**
 - Numero de productos: [input field] [AGREGAR]
 - DATOS DE ENTRADA:
 - Cantidad [kg]: [input field]
 - Temperatura [°C] al entrar en el almacen: [input field]
 - Tiempo de enfriamiento [Hora]: [input field]
 - ENFRIAMIENTO DE LA MERCANCIA HASTA LA TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO:
 - Temperatura [°C] al final del enfriamiento: [input field]
 - ENFRIAMIENTO INCLUYENDO Y EVENTUAL SUBENFRIAMIENTO:
 - Temperatura [°C] durante la congelacion: [input field]
 - Temperatura [°C] al final del enfriamiento: [input field]
 - ENFRIAMIENTO DEL EMBALAJE:
 - Tipo de envase: A GRANEL (Sin empaquetar)
- CALCULO DE CARGA:**
 - Refrigeracion de la mercancía (sin llegar a congelar): [input field]
 - Congelacion y eventual subenfriamiento: [input field]
 - Calor de respiracion: [input field]
 - Refrigeracion del embalaje: [input field]
 - Carga total del producto [kJ/dia]: [input field]
 - Carga total del producto acumulada [kJ/dia]: [input field]
 - [SIGUIENTE]
- TABLA DE PRODUCTOS:**

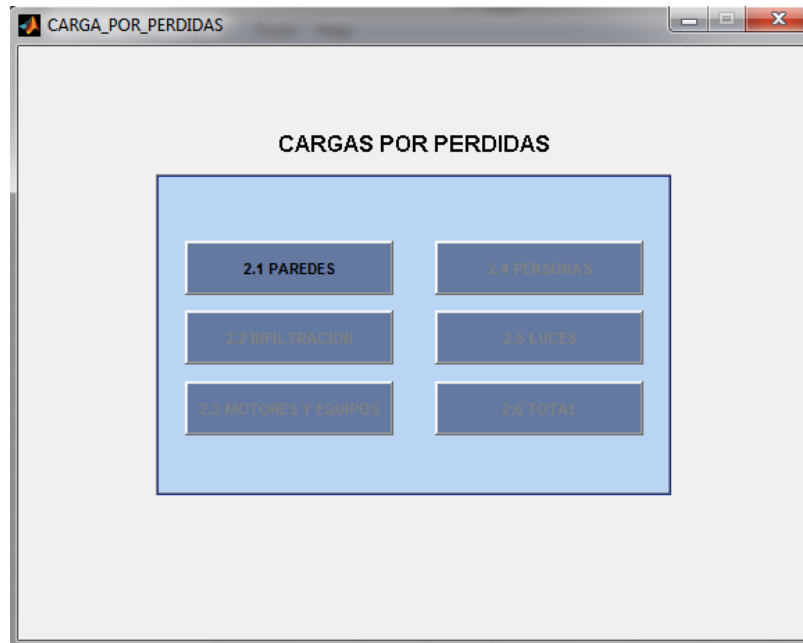
	Producto	Qsincongelar [kJ/dia]	Qsubenfriamiento [kJ/dia]	Qrespiracion [kJ/dia]	Qembalaje [kJ/dia]	Qproducto [kJ/dia]
1						
2						
3						
4						

Fuente: Autores.

➤ **Cargas por perdidas.**

Esta interfaz se abre al usar el botón “cargas por perdidas” ubicado en la interfaz de módulos y solo se activa si es pulsado el botón “carga por enfriamiento” es decir forzando al usuario a seguir el proceso de diseño recomendado (Figura 36). Consta de una serie de botones en donde se enlista las diferentes cargas por pérdidas a calcularse, entre ellos paredes, infiltración, motores y equipos, personas, luces y total. Los botones se usan de manera secuencial y se van activando a medida que se van usando los anteriores.

Figura 36. Interfaz de cargas por pérdidas de la herramienta Computacional



Fuente: Autores.

➤ **Paredes**

El módulo de paredes tiene la presentación que se puede observar en la figura 37. Mediante este módulo se puede evaluar las cargas de enfriamiento por ganancias de calor hacia el interior del cuarto a través de las paredes.

Para la estimación de dicha carga el modulo cuenta con una solicitud de datos de entrada, entre ellos esta dimensiones interiores, temperatura exterior, tipo de aislante, espesor, etc. Además se puede seleccionar que pared está expuesta al sol, para tener en cuenta la carga por radiación como recomienda ASHRAE.

Este proceso dará como resultado la carga térmica de cada una de las paredes

Figura 37. Interfaz de paredes de la herramienta Computacional

PERDIDAS DE FRIO A TRAVES DE LAS PAREDES

DIMENSIONES INTERIORES

ANCHO [m] 5
 ALTO [m] 3
 LARGO [m] 4

Temperatura Exterior [°C] 30
 Temperatura interior [°C] -0.25

Aislante POLIESTIRENO, EXTRUIDO (R-142b) Espesor [cm] 10.33

PAREDES

NORTE 30
 SUR 30 Expuesta al sol
 ESTE 30 Expuesta al sol
 OESTE 30 Expuesta al sol
 TECHO 30 Expuesta al sol
 PISO 30

COLOR: Claro Medio Oscuro
 COLOR: Claro Medio Oscuro
 COLOR: Claro Medio Oscuro
 COLOR: Claro Medio Oscuro

PERDIDAS EN LAS PAREDES

NORTE	10608.8	OESTE	13261
SUR	10608.8	TECHO	17681.4
ESTE	13261	PISO	17681.4
TOTAL [kJ/día]		83102.4	

CALCULAR SIGUIENTE

Fuente: Autores.

➤ **Infiltración**

En el módulo de infiltración se puede determinar la carga térmica por cualquier cantidad de aire que penetre en el espacio refrigerado basado en el método de estimación por cambio de aire recomendado por ASHRAE.

Para la estimación de dicha carga el modulo cuenta con las condiciones interiores y exteriores del cuarto, calculado las propiedades térmicas como humedad, densidad entalpia, etc. (Figura 38)

Figura 38. Interfaz de infiltración de la herramienta Computacional

CODICIONES INTERIORES		CODICIONES EXTERIORES	
TEMPERATURA DEL AIRE [°C]	-0.25	TEMPERATURA DEL AIRE [°C]	30
HUMEDAD RELATIVA [%]	93	HUMEDAD RELATIVA [%]	70
HUMEDAD ABS. [Kg vapor de agua/ Kg aire seco]		HUMEDAD ABS. [Kg vapor de agua/ Kg aire seco]	
ENTALPIA ESPECIFICA [kJ/kg]		ENTALPIA ESPECIFICA [kJ/kg]	
DENSIDAD DEL AIRE HUMEDO [kg/m³]		DENSIDAD DEL AIRE HUMEDO [kg/m³]	
ENTALPIA ABSOLUTA [kJ/m³]		ENTALPIA ABSOLUTA [kJ/m³]	

VOLUMEN INTERIOR DE LA CAMARA [m³] 60 CARGA POR INFILTRACION [kJ/dia] Nº DE RENOVACIONES DE AIRE POR DIA

CALCULAR SIGUENTE

Fuente: Autores

➤ Motores y equipos

El módulo de equipos facilita el cálculo de los calores aportados por los motores y equipos. Para la estimación de la carga, el modulo cuenta con el bloque de motores eléctricos y otros equipos.

La opción de motores eléctricos permite añadir motores eléctricos que se pueden encontrar en las aplicaciones industriales más comunes.

Ubicación del motor y la máquina que maneja

Es la posición relativa del motor y la máquina que maneja con respecto al local. Existen tres posibilidades:

- Motor y máquina dentro del local

- Motor fuera y máquina dentro del local
- Motor dentro y máquina fuera del local

Potencia nominal del motor (kW)

Es la potencia que se especifica en la placa del motor. Se selecciona de la lista desplegable respectiva donde se encuentran disponibles potencias desde 0.04 hasta 190 kW en los valores más populares del mercado.

Si el equipo que se quiere adicionar no es un motor eléctrico, el software permite añadirlo. La interfaz para el módulo de motores y equipos se presenta en la figura 38.

Figura 39. Interfaz de motores y equipos de la herramienta computacional

The screenshot shows a software window titled 'EQUIPOS' with a light blue background. The main content area is titled 'CALOR APORTADO POR MOTORES Y MAQUINAS'. It is divided into several sections:

- MOTORES ELECTRICOS:** Contains three radio button options:
 - Motor y Ventilador Dentro del Cuarto (A)
 - Motor Fuera y Ventilador Dentro del Cuarto (B)
 - Motor Dentro y Ventilador Fuera del Cuarto (C)
- Potencia Nominal del Motor [Kw]:** A dropdown menu currently showing '0.04'.
- Numero de motores de ventiladores:** An empty text input field.
- Tiempo de funcionamiento [h/día]:** An empty text input field.
- OTRAS MAQUINAS:** Contains two text input fields:
 - Tiempo de funcionamiento [h/día]
 - Potencia total [Kw]
- PERDIDA POR CALOR DE MAQUINAS:** Contains three text input fields:
 - MOTORES (ventiladores)
 - OTROS EQUIPOS
 - TOTAL [Kj/Día]

At the bottom right of the interface, there are two buttons: 'CALCULAR' and 'SIGUIENTE'.

Fuente: Autores.

➤ **Personas**

En el presente módulo el usuario puede determinar las cargas térmicas que producen las personas que ocupan tiempo dentro del cuarto refrigerado. Los datos a ingresar son número de personas trabajando en la cámara y tiempo de permanencia (Figura 40)

Figura 40. Interfaz de personas de la herramienta Computacional

PERSONAS

APORTACION DE CALOR DEBIDAS A CIRCULACION Y TRABAJO DE LAS PERSONAS

Temperatura interior [°C]

Numero de personas trabajando en la cámara

Tiempo de permanencia [h/dia]

PERDIDAS POR CALOR DE PERSONAS [kj/dia]

Fuente: Autores.

➤ **Luces**

En el presente módulo el usuario puede determinar las cargas térmicas que producen las luces dentro del cuarto refrigerado. Los datos a ingresar son el nivel de

iluminación de la luces, el tiempo de permanencia que por defecto viene igual a el tiempo de permanencia de las personas, al igual que el área interna de la cámara que viene de módulos anteriores (Figura 41).

Figura 41. Interfaz de luces de la herramienta Computacional

LUCES

CALOR APORTADO POR LA ILUMINACION

Niveles de iluminacion [W/m²] 12

Area de la Camara [m²] 20

Tiempo de permanencia [h/dia] 1

Fluorescentes

CALOR DEBIDO A LUCES [kj/dia] []

CALCULAR

SIGUIENTE

Fuente: Autores.

➤ **Cargas por pérdidas totales**

En el presente modulo se genera un resumen de todas las cargas por perdidas previamente calculadas; paredes, infiltración, equipos, personas, luces. (Figura 42)

Figura 42. Interfaz de pérdidas totales de la herramienta computacional

CARGAS TOTALES POR PERDIDAS	
PAREDES [kj/dia]	83102.4
INFILTRACION [kj/dia]	42569.6
EQUIPOS [kj/dia]	6804
PERSONAS [kj/dia]	9846
LUCES [kj/dia]	864
TOTAL [kj/dia]	143186

SIGUIENTE

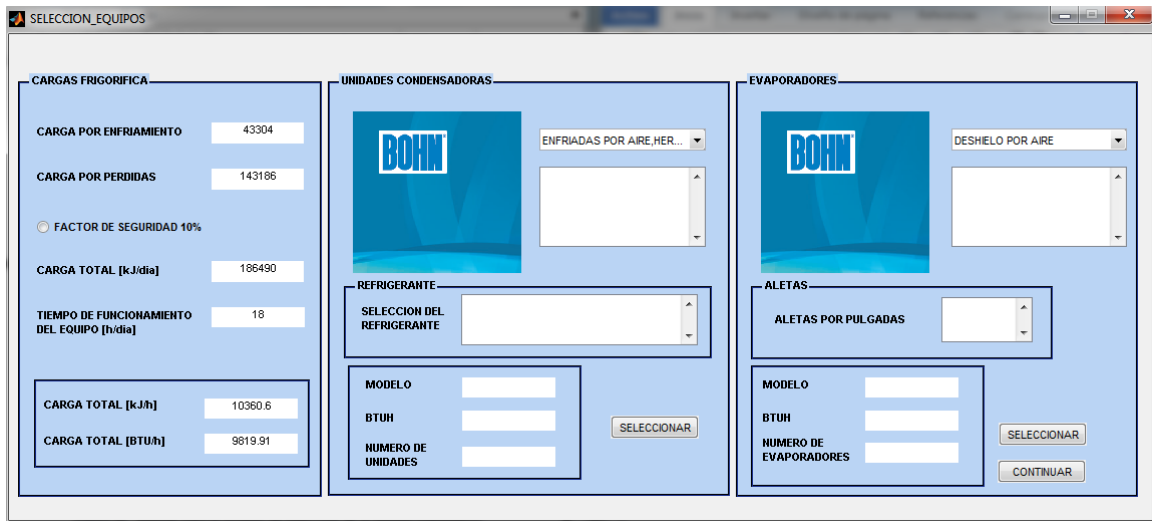
Fuente: Autores.

➤ Selección de equipos

El módulo de selección de equipos, permite elegir la unidad condensadora y el evaporador a la que más se ajustan a las necesidades del diseño.

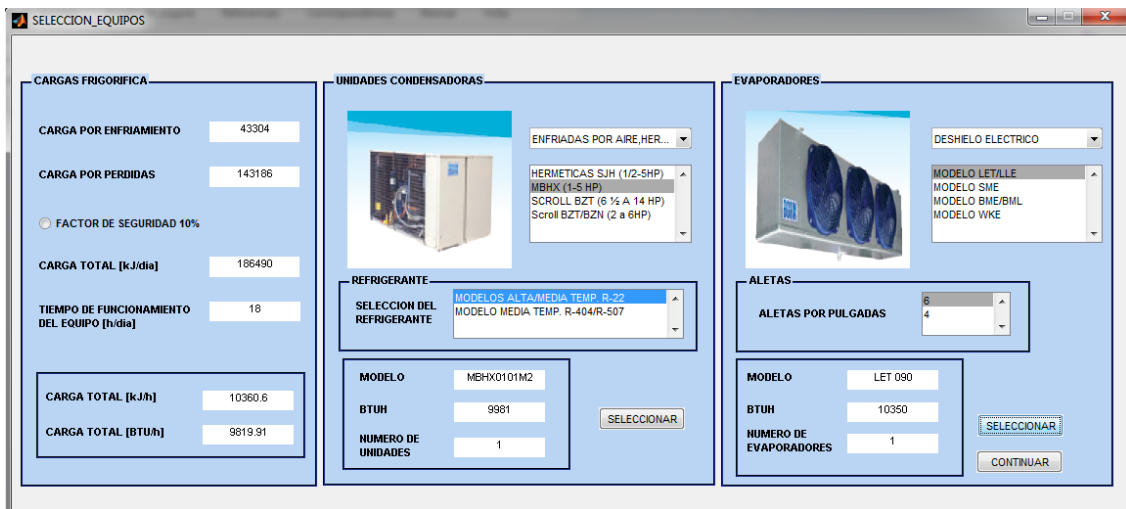
Este módulo cuenta, en sus bases de datos, con una serie de catálogos del fabricante BOHN del cual se extraen los valores de las capacidades que el usuario ha seleccionado, y los compara con los que se obtienen del proceso de diseño que se ha llevado a cabo hasta este punto. Una vez encuentra una unidad condensadora y un evaporador capaz de suplir las necesidades de diseño, se muestra en la sección de resultados. (Figura 43 y Figura 44)

Figura 43. Interfaz de Selección de equipos de la herramienta Computacional



Fuente: Autores.

Figura 44. Interfaz de selección de equipos de la herramienta Computacional



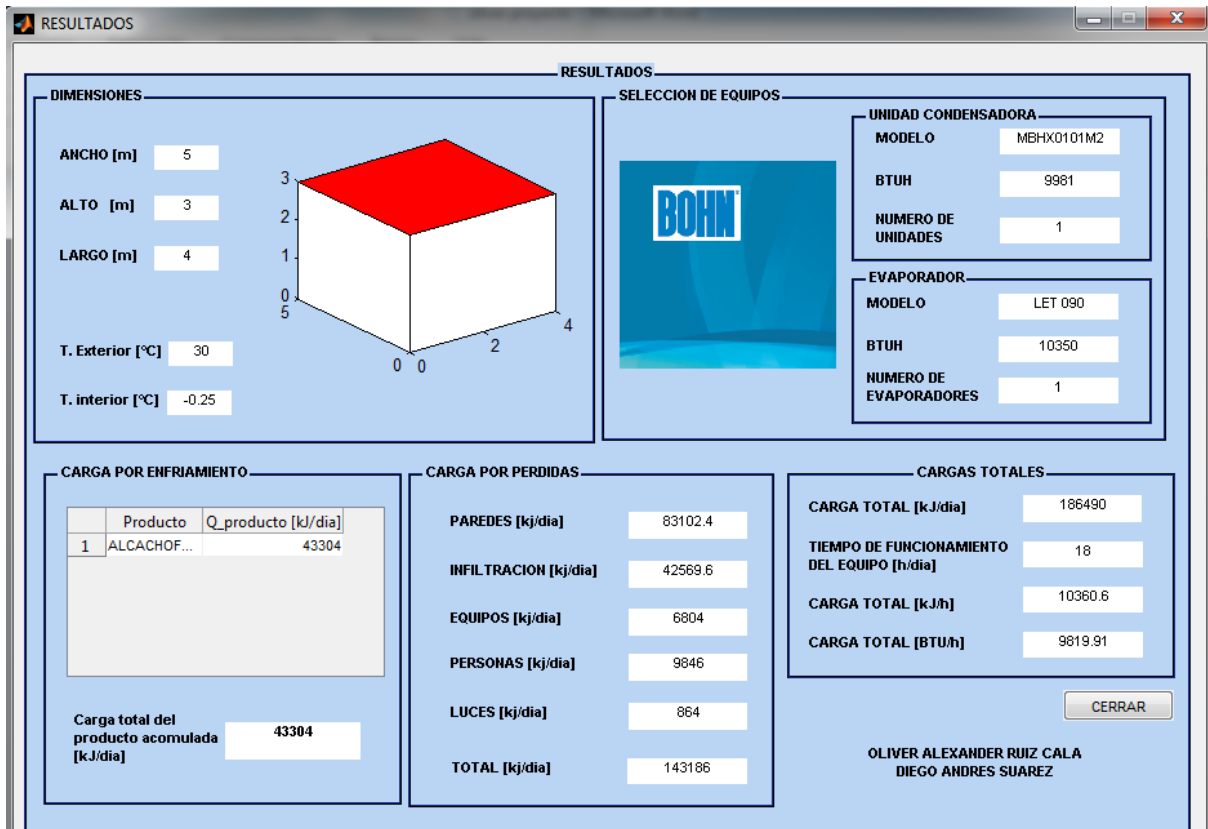
Fuente: Autores.

➤ Resultados

Esta interfaz presenta un resumen general de los datos más relevantes del diseño como son: las dimensiones internas, temperaturas internas y externas, una tabla con

los productos seleccionados, todas las cargas por pérdidas (paredes, infiltración, equipos, personas, luces) y la selección de la unidad condensadora y el evaporador. (Figura 45)

Figura 45. Interfaz de resultados de la herramienta Computacional



Fuente: Autores.

4.4.2. Requerimientos del Software

El programa necesario para utilizar la herramienta desarrollada es el siguiente: Matlab® 2010a o superior.

5. MULTIMEDIA DE LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA EL CALCULO DE CARGAS Y DISEÑO DE CÁMARAS FRIGORÍFICAS

5.1. ¿EN QUÉ CONSISTE LA MULTIMEDIA?

Es una guía interactiva informática que sirve para entender algunos aspectos básicos que intervienen en el ciclo de refrigeración y cuartos frigoríficos, con el objetivo de obtener un mejor aprovechamiento y comprensión de la herramienta computacional para el cálculo de Cargas y Diseño de Cámaras Frigoríficas. La multimedia se desarrolló en 3 grandes módulos diseñados con una interfaz amigable y de fácil acceso, permitiendo una mejor interacción entre el usuario y la multimedia, estos tres grandes módulos se dividen de la siguiente manera:

- ✓ Cámara frigorífica
- ✓ Montajes de cámaras frigoríficas
- ✓ Cámara frigorífica tipo industrial

La información utilizada en la multimedia, es el resultado de la recopilación y selección de diferentes libros y textos informáticos, además de visitas técnicas realizadas a un frigorífico tipo industrial, con el objetivo de crear un material práctico, sencillo y que permitiera a cualquier estudiante o interesado entender de manera clara y dinámica sobre el montaje de cámaras frigoríficas tipo modular o fijo, equipos y partes importantes en la construcción de cámaras frigoríficas y finalmente el funcionamiento de una cámara frigorífica tipo industrial

5.2. VENTAJAS DEL USO DE UNA MULTIMEDIA⁷²

- Mejora las interfaces basadas solo en texto.
- Mantienen la atención y el interés.
- Mejora la retención de la información presentada.
- La información se muestra de un modo completo e impactante, debido al desarrollo de los diversos medios de comunicación, en soporte digital.
- La información está disponible las 24 horas del día.
- Reducción de los costos. Los costos de las actualizaciones se reducen considerablemente gracias al bajo costo del soporte digital y a la flexibilidad del mismo.
- Información fácilmente actualizable.
- La información se personaliza en función de las características y necesidades del usuario final.
- Gracias a la interactividad, le receptor participa activamente en el proceso Multimedia, teniendo en todo momento el control del mismo.
- Posibilidad de diversos idiomas en un mismo soporte.
- Gran capacidad de almacenamiento.
- Calidad digital de imagen y sonido.
- La posibilidad de crear aplicaciones en soportes multiplataforma, permite llegar al mayor número de usuarios potenciales, independientemente de la plataforma utilizada.

⁷²Ventajas del uso de multimedia. [en línea]. < <http://tproduccionmultimedia.wordpress.com/3-enumerar-algunas-ventajas-de-la-multimedia-con-respecto-a-otros-medios-informativos>> Fecha disponible [13 de Mayo del 2013]

5.3. REQUERIMIENTOS

5.3.1. Requerimientos de uso

El tipo de usuario de la multimedia será normal y se acepta cualquier estudiante o profesional interesado en realizar una consulta de la temática. La forma de interactuar es con el mouse y realizando el desplazamiento en cada módulo, la exigencia mínima de resolución es 980x720 pixeles.

5.3.2. Requerimientos del sistema

Para el correcto funcionamiento de la multimedia, es necesario que el usuario posea un ordenador con las siguientes características:

- ✓ Procesador: 2.33GHz Intel® Pentium® 4, AMD Athlon® 64 2800+, or faster processor
- ✓ Memoria RAM: 1GB
- ✓ Resolución de pantalla recomendada: 1024 X 768 pixeles
- ✓ Flash Player
- ✓ Adobe Reader
- ✓ Sistema Operativo: Microsoft® Windows® XP Home, Professional, or Tablet PC Edition with Service Pack 3; Windows Server® 2003 or 2008; Windows Vista® Home Premium, Business, Ultimate, or Enterprise (including 64-bit editions) with Service Pack 2; or Windows 7

5.3.3. Herramientas de desarrollo

✓ ADOBE FLASH PROFESIONAL CS6

Para el desarrollo de la multimedia, se seleccionó el programa Adobe Flash Professional CS6 y este programa sirvió en la multimedia con los siguientes aspectos:

- Montar la estructura completa de la multimedia, que contenga la organización de los temas y subtemas de información y definir la forma como se ejecutarán dentro de la multimedia a medida que se avanza.
- Crear los códigos necesarios para las animaciones dentro de la misma estructura; para crear animaciones con imágenes previamente vectorizadas (ya que si la imagen no está vectorizada el programa no lo recibe) y con el código que le da la orden de mover esta imagen cada cierto tiempo para dar la sensación de movimiento.
- Diseñar la interfaz de una forma amigable y sencilla.

✓ ILUSTRATOR

El uso de Illustrator es un programa que permite crear y convertir imágenes en vectores. El uso de este programa fue fundamental en la creación de la multimedia, para convertir las diferentes imágenes, tablas y los dibujos necesarios para las animaciones.

✓ USO DE ENLACES EXTERNOS

Se tuvieron en cuenta las animaciones y pdfs encontrados en investigaciones previas, se crearon unos enlaces que serían llamados dentro de la multimedia, para complementar la información de los temas.

Las animaciones se ejecutan dentro de la multimedia para evitar creación de nuevas ventanas y facilitar su ejecución en la PC.

Los Pdfs contenidos en la multimedia, son explicaciones y catálogos utilizados en la selección de válvulas neumáticas, las cuales son mencionadas en el módulo de cámaras frigoríficas tipo industrial, esta parte se incluyó pensando en aquellos usuarios que también están interesados en el funcionamiento específico de este tipo de válvulas y su intervención en el ciclo frigorífico.

5.3.4. Diseño de la multimedia

La multimedia se diseñó con una resolución recomendada de 1024 X 768 píxeles y se programó un scroll para aprovechar el espacio de trabajo.

Para el diseño de la interfaz, se seleccionaron los colores distintivos de la Universidad Industrial de Santander (blanco y verde), y se acompañaron con colores negros y grises. Además del logo representativo ubicado en el lado izquierdo de la interfaz, también se agregó el logo representativo de la Escuela Ingeniería Mecánica, ubicándolo al lado derecho de la interfaz.

5.3.4.1. Distribución de espacios

El diseño de cada módulo se divide en cuatro espacios

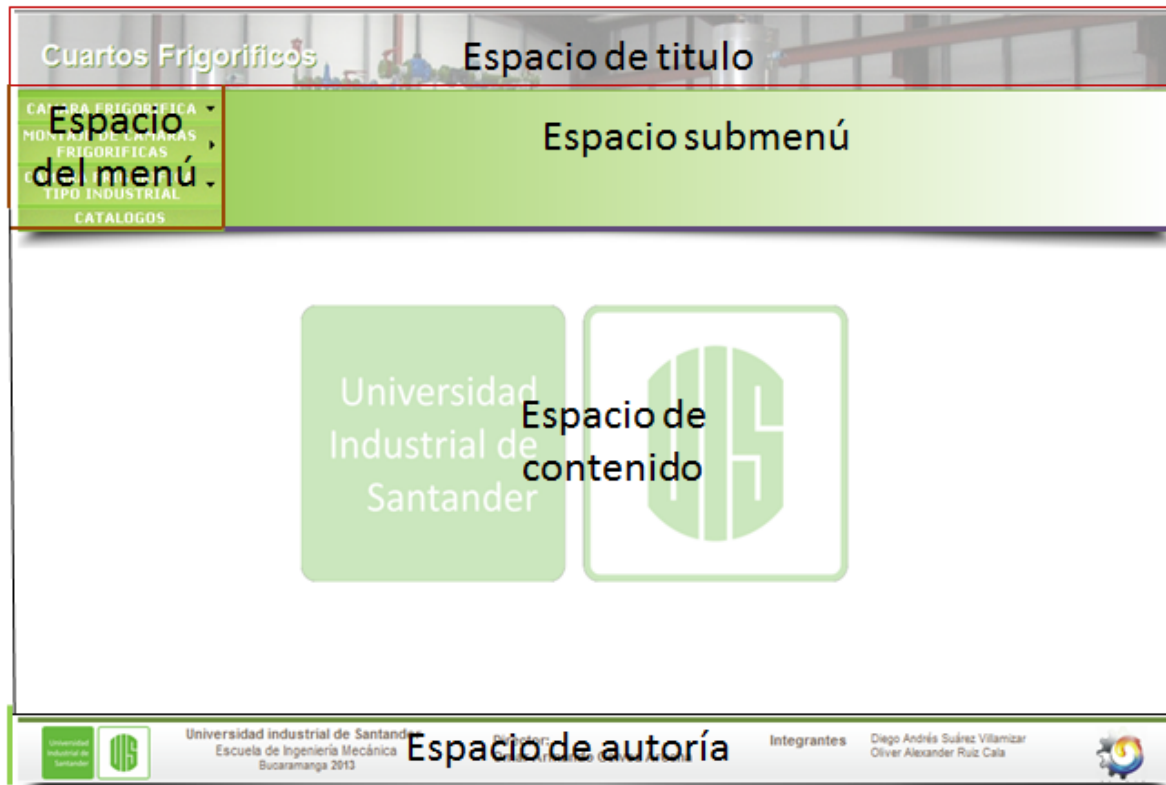
- ✓ Espacio de Título
- ✓ Espacio del Menú
- ✓ Espacio de contenido
- ✓ Espacio de autoría

Figura 46. Espacios de Diseño del Módulo I



Fuente: Multimedia de la Herramienta Computacional para el cálculo de cargas y diseño de Cámaras Frigoríficas

Figura 47. Espacios de Diseño de Módulo II



Fuente: Multimedia de la Herramienta Computacional para el cálculo de cargas y diseño de Cámaras Frigoríficas

✓ Espacio del título

El título que identifica este espacio es “Cuartos frigoríficos” y se encuentra de forma permanente en cada módulo ubicado en la parte superior de la pantalla

✓ Espacio del menú

El espacio de menú posee una lista de los 3 módulos Cámara Frigorífica, Montajes de cámaras frigoríficasl y cámara frigorífica tipo Industrial cada uno encima de otro y ubicados en la parte superior izquierda del módulo justo luego del Espacio de título.

Estos despliegan su contenido al colocar el puntero encima del título, navegando así entre los contenidos y subcontenidos que tienen la multimedia. Adicionalmente al final de los 3 módulos encontramos el botón de catálogos, el cual nos brindara información de las válvulas específicamente usadas en el frigorífico tipo industrial.

Figura 48. Demostración Despliegue de contenido en el módulo

The screenshot shows a software interface titled "Cuartos Frigoríficos". It features a navigation menu on the left with the following items: "CAMARA FRIGORIFICA", "MONTAJE DE CAMARAS FRIGORIFICAS", "CAMARA FRIGORIFICA TIPO INDUSTRIAL", and "CATALOGOS". The main content area displays a tree structure of components:

- equipo de refrigeracion
 - compresores
 - compresor alternativos
- otros elementos de las camaras frigorificas
 - evaporadores
 - compresores rotativos
 - compresor de paletas
 - condensadores
 - compresores centrifugos
 - compresor de tornillo
 - torres de enfriamiento
 - compresor de lobulos
 - valvula de termo expansion
 - compresor de scroll

Below the menu is the logo of the Universidad Industrial de Santander, consisting of a green square with the text "Universidad Industrial de Santander" and a circular emblem with the letters "UIS".

At the bottom, a footer bar contains the following information:

- Universidad Industrial de Santander (Logo)
- Universidad industrial de Santander
Escuela de Ingeniería Mecánica
Bucaramanga 2013
- Director:
Omar Armando Gélvez Arocha
- Integrantes
Diego Andrés Suárez Villamizar
Óliver Alexander Ruiz Cala
- Logo of a globe with a gear.

Fuente: Multimedia de la Herramienta Computacional para el cálculo de cargas y diseño de Cámaras Frigoríficas

✓ Espacio del contenido

Se encuentra en la parte central en cada módulo debajo de los espacios de título y menú y abarca la mayoría del área de la pantalla para garantizar visibilidad de las letras y gráficas mostradas.

✓ Espacio de Autoría

Para un aprovechamiento de los espacios se colocó el nombre del director del proyecto y los integrantes que contribuyeron para la creación de este material

Figura 49. Descripción del Espacio de Autoría en el Módulo



Fuente: Multimedia de la Herramienta Computacional para el cálculo de cargas y diseño de Cámaras Frigoríficas

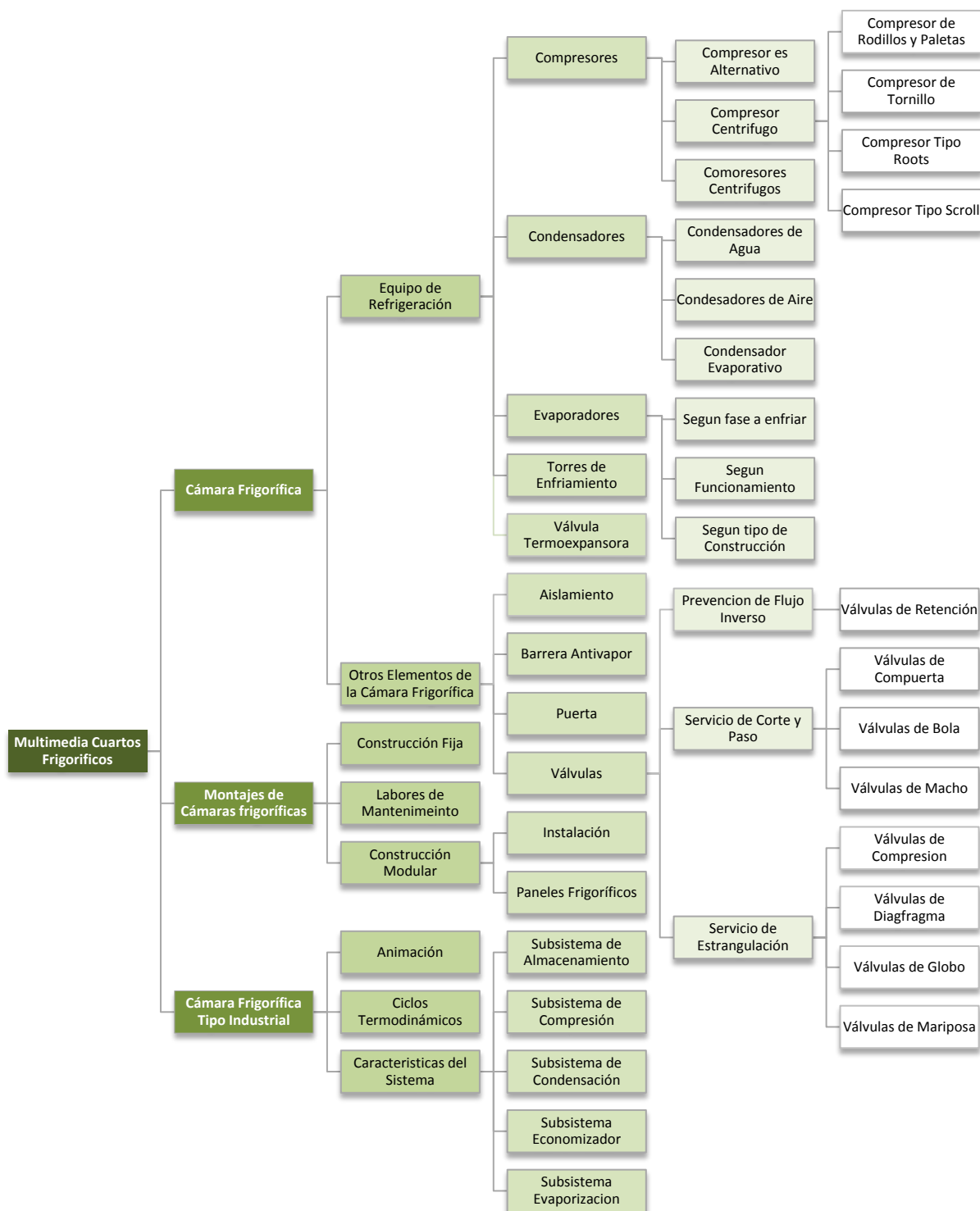
5.3.5. Navegación del sistema

Acorde a las descripciones hechas anteriormente, la multimedia cuenta con espacios bien definidos y fácilmente identificables para el usuario, la navegación posee una

estructura jerárquica que permite visualizar cualquier contenido y regresar a la sección anterior en cualquier momento. La multimedia también cuenta con una estructura definida en cada uno de los temas a tratar, cuenta con unos vínculos con los subtemas del tema principal, para llegar de manera rápida y concreta a la información de interés del usuario.

5.3.5.1. Contenidos de la Multimedia

Figura 50. Contenido de la Multimedia



Fuente: Multimedia de la Herramienta Computacional para el cálculo de cargas y diseño de Cámaras Frigoríficas

La multimedia está conformada por tres grandes módulos los cuales son:

✓ **Módulo Cámara frigorífica**

La multimedia también cuenta con una estructura definida en cada uno de los temas a tratar, cuenta con unos vínculos con los subtemas del tema principal, para llegar de manera rápida y concreta a la información de interés del usuario.

Grupo de Equipo de Refrigeración

Trata los equipos que intervienen en el ciclo de refrigeración, su funcionamiento, características, clasificación, ventajas y desventajas. Algunos equipos de refrigeración se explicaran de manera más profunda su clasifican, mencionando sus rasgos más importantes al igual que los equipos principales.

Figura 51. Información inicial Grupo de Equipo de Refrigeración en el Módulo



The screenshot shows a software window titled "compresores". The main heading is "Cuartos Frigoríficos". Below it is a green navigation menu with the following items: "CAMARA FRIGORIFICA", "MONTAJE DE CAMARAS FRIGORIFICAS", "CAMARA FRIGORIFICA TIPO INDUSTRIAL", and "CATALOGOS". The main content area is titled "INTRODUCCIÓN" and features a photograph of industrial refrigeration equipment. To the right of the photo is a text block. Below the photo is a URL: <http://tekno10arangustas10.blogspot.com/2010/07/compresor.html>. The text discusses the requirements for industrial refrigeration, mentioning various compressor types like screw, reciprocating, centrifugal, and rotary vane, and their applications in industries like chemical and food processing.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la práctica industrial moderna requiere para múltiples usos la compresión de gases y vapores, ya sea en el accionamiento de herramientas neumáticas y mecanismos de potencia o en el enfriamiento intenso. Cuando nos referimos a la refrigeración Industrial encontramos que los principales tipos de compresores utilizados son tipo tornillo, recíprocante, centrífugos y paletas rotativas. Existe otro tipo de compresor que es fabricado en grandes cantidades, el compresor de desplazamiento, pero este tipo de compresor no se encuentra disponible en el tamaño que normalmente se encuentra en la refrigeración industrial. Los compresores de paletas rotativas aún se encuentran en uso como compresores de etapa baja, pero es muy poco frecuente verlos instalados. Por otra parte, el uso de compresores centrífugos ha sido estándar en la industria química por su gran capacidad y plantas de la industria de proceso donde ellas son manejadas por motores eléctricos o por vapor o turbinas de gas. Los compresores centrífugos son también ampliamente utilizados para el agua de refrigeración en aplicaciones de aire acondicionado. Los fabricantes utilizan refrigerantes como el R-123y R-134a en estos paquetes.

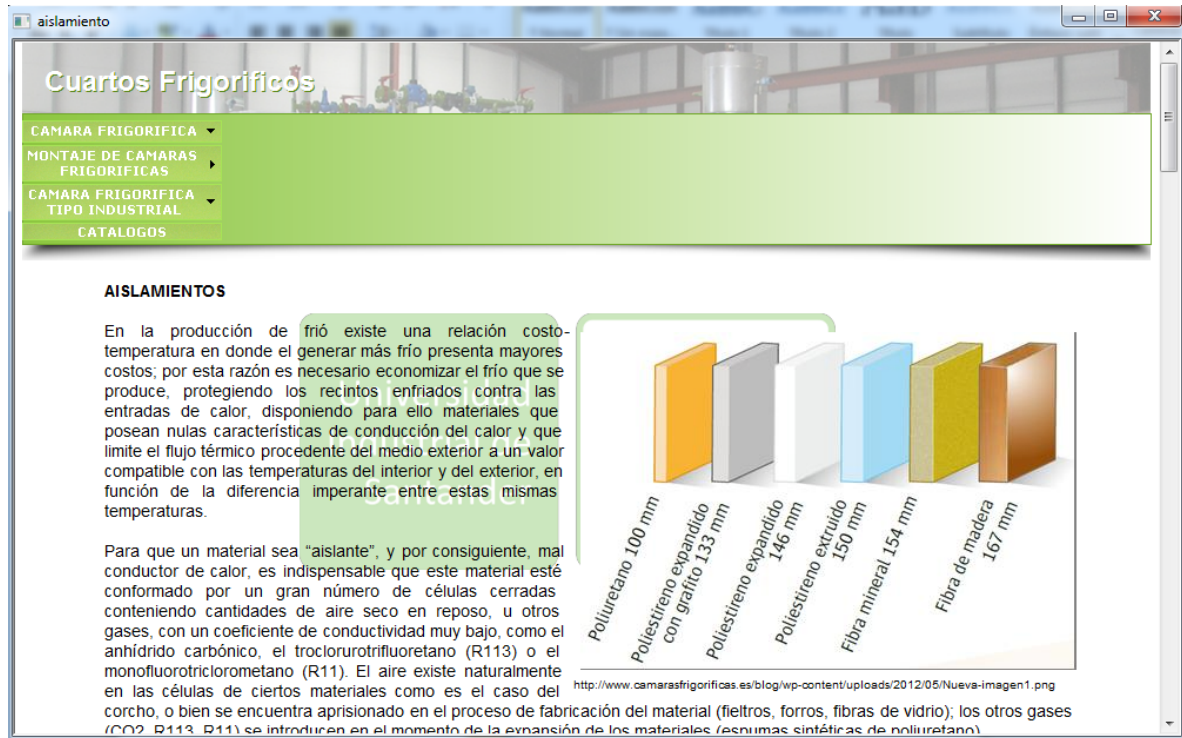
En una definición más sencilla sobre los compresores, podríamos expresar que es una máquina capaz de elevar la presión del gas que maneja.

Fuente: Multimedia de la Herramienta Computacional para el cálculo de cargas y diseño de Cámaras Frigoríficas

Grupo de Otros Elementos de las Cámaras Frigoríficas

Se encuentran algunos elementos adicionales que hacen parte de los cuartos frigoríficos, como las puertas, barrera antivapor, aislantes y válvulas. Se adiciono su clasificación, inconvenientes y en algunos elementos la norma por la cual se rigen en las cámaras frigoríficas.

Figura 52. Información Inicial del Grupo de Otros elementos de las Cámaras Frigoríficas en el módulo



Fuente: Multimedia de la Herramienta Computacional para el cálculo de cargas y diseño de Cámaras Frigoríficas

✓ **Módulo Montaje de Cámaras Frigoríficas**

Este módulo trata temas sobre el tipo de cámaras frigoríficas, el mantenimiento necesario para su correcto funcionamiento y el montaje respectivo para cada tipo de cámara.

Figura 53. Módulo de Montaje de Cámaras Frigoríficas



Fuente: Multimedia de la Herramienta Computacional para el cálculo de cargas y diseño de Cámaras Frigoríficas

✓ Módulo Cámara Frigorífica Tipo Industrial²

El módulo de cámara frigorífica tipo industrial, contiene el caso estudio de una cámara frigorífica tipo industrial, el frigorífico metropolitano, y la explicación de cada una de subdivisiones que conforman el sistema de refrigeración, además se presentan los diferentes arreglos térmicos que se suelen utilizar en la área industrial.

Para facilitar su comprensión se subdividió en tres temas:

- Características del sistema,
- Animación

- Ciclos térmicos del sistema.

Características del sistema

Contiene la información necesaria para el entendimiento de cada uno de los equipos, su función, control y las válvulas que intervienen en el funcionamiento del ciclo frigorífico. También se presenta el proceso de descarche que se sigue en este frigorífico tipo industrial.

Figura 54. Módulo Cámara Frigorífica Tipo Industrial



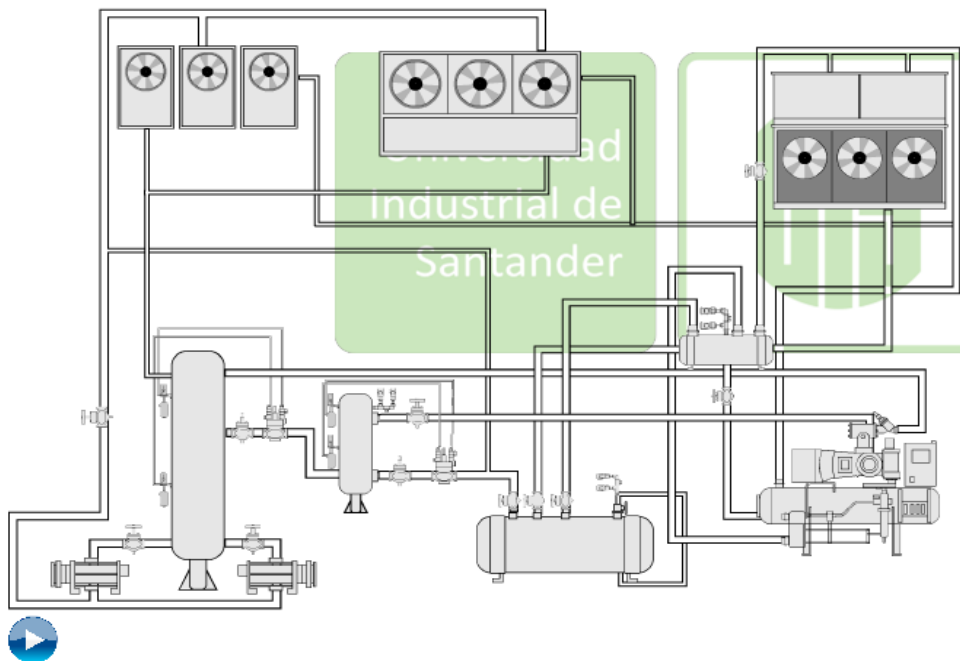
Fuente: Multimedia de la Herramienta Computacional para el cálculo de cargas y diseño de Cámaras Frigoríficas

Animación

Contiene de manera gráfica y dinámica el funcionamiento de la cámara frigorífica tipo industrial y presenta 3 secuencias:

- Proceso de iniciación del frigorífico industrial: Esta animación consiste de una animación guiada donde el usuario tendrá que seguir un orden para apreciar el funcionamiento de los diferentes equipos que cuenta el frigorífico industrial, además esta animación también contiene algunos comentarios sobre la función o procesos que ocurren en dichos equipos.
- Proceso de lubricación del compresor: Esta animación consiste del funcionamiento del sistema de lubricación del compresor y la refrigeración exterior por parte del termosifón.

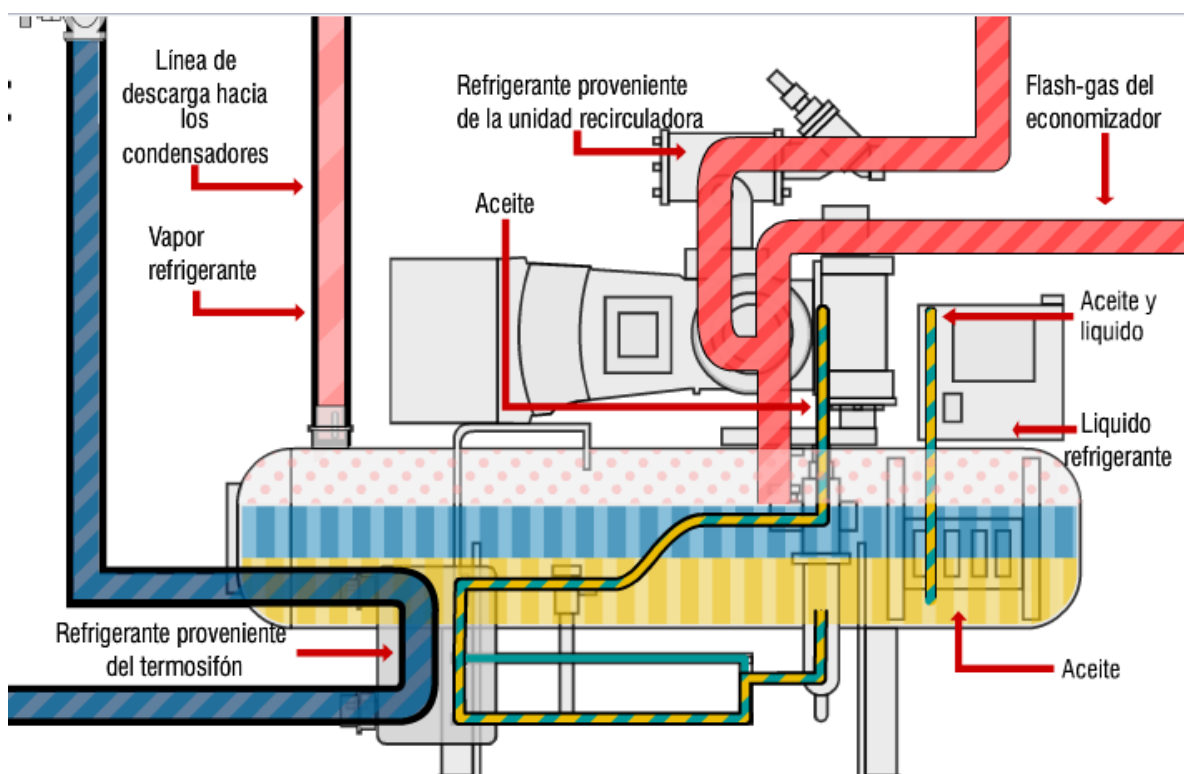
Figura 55. Animación de cámara Frigorífica Tipo Industrial



Fuente: Multimedia de la Herramienta Computacional para el cálculo de cargas y diseño de Cámaras Frigoríficas

- Proceso de descarche: Ya que el proceso de descarche en los evaporadores es una parte fundamental para el buen funcionamiento del ciclo de refrigeración del sistema, es importante que también el usuario o el estudiante aprecie las acciones que se realizan para mantener en buen funcionamiento los evaporadores y como operan las válvulas para lograr este propósito.

Figura 56. Animación de Lubricación del Compresor

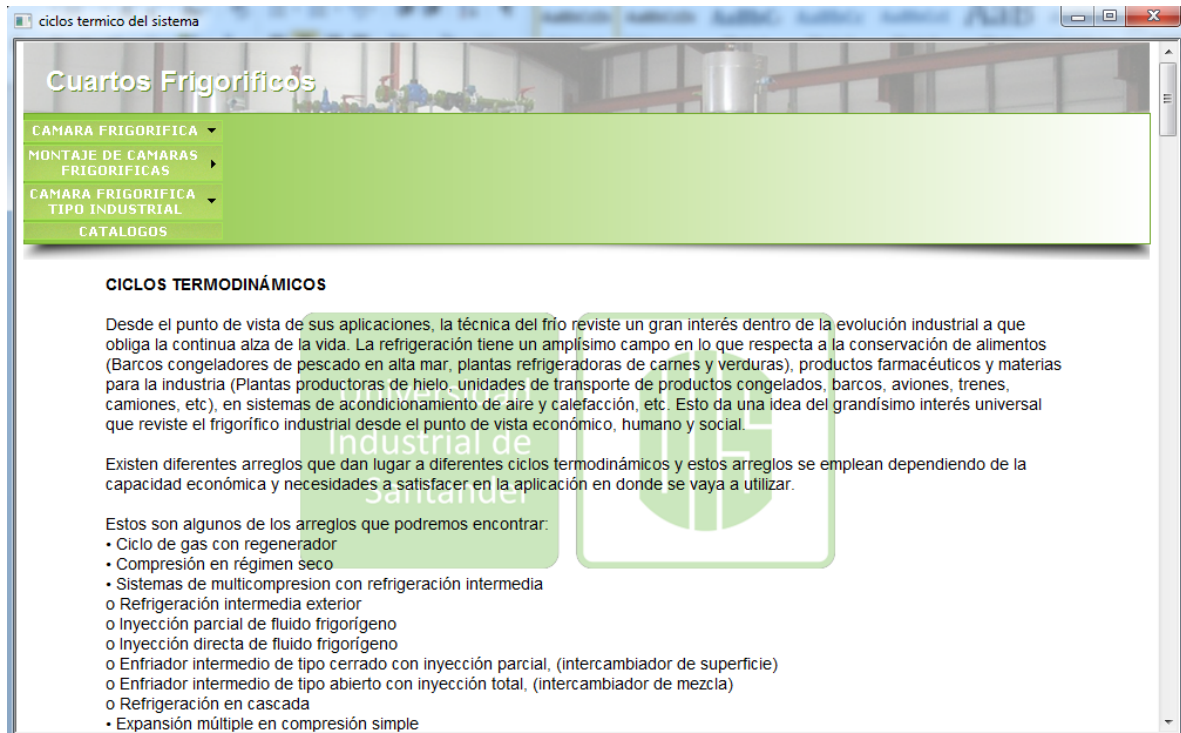


Fuente: Multimedia de la Herramienta Computacional para el cálculo de cargas y diseño de Cámaras Frigoríficas

- Ciclos térmicos del Sistema

Presenta algunos esquemas de montajes utilizados en la refrigeración industrial para el acondicionamiento de cuartos frigoríficos.

Figura 57. Ciclos termodinámicos de la multimedia



Fuente: Multimedia de la Herramienta Computacional para el cálculo de cargas y diseño de Cámaras Frigoríficas

5.3.6. Elementos Identificativos de la multimedia

5.3.6.1. Layout de las páginas

La plantilla de la multimedia comenzó a desarrollarse con la intención de llegar al usuario o estudiante de una forma clara y ordenada, con un diseño agradable y sobre todo de una forma sencilla de manejar, es por esta razón que la multimedia cuenta con cuatro zonas, las cuales fueron definidas anteriormente, es importante destacar que en todo momento a lo largo que se ejecuta la multimedia y se leen su

contenido, se puede apreciar el título de esta herramienta complementaria, dándole la importancia del trabajo realizado.

En la parte de zona de menús, es importante destacar que se quiso mantener el orden y evitar el contenido que no se estaba siendo requiriendo, para que este no le resultara incomodo visualmente al usuario y aprovechar el espacio de trabajo, es por esta razón que solo se desplegaran los submenús cuando el usuario intente buscarlos y se desplegara de forma horizontal.

5.3.6.2. Accesibilidad

El tamaño de letra fue de Arial 14 negrilla para títulos, menús y submenús, el de contenidos fue Arial 14 que permite la legibilidad y al ser una fuente del sistema garantiza que todos los usuarios verán la misma versión.

Se diseño un scroll, con el fin de poder contener toda la informacion necesaria en un solo lugar, reduciendo el numero de plantillas de la multimedia y evitandole al usuario la molestia de tener que avanzar en diferentes plantillas para encontrar informacion sobre un mismo tema.

La multimedia también cuenta con unos enlaces externos, los cuales presentaran su información en unas ventanas aparte de la multimedia, esta información se dispuso de una manera adicional, para aquellos que están interesados en aprender un poco más sobre el funcionamiento de algunas de las válvulas mencionadas en la multimedia.

5.3.7. Elementos multimedia

Los elementos con los que cuenta la multimedia, además de gráficos seleccionados teniendo en cuenta su alto grado de calidad y completa información son:

Video

El video se puede encontrar en el módulo montaje cámara frigorífica tipo panel, y muestra algunos pasos que se siguen en el montaje de estos tipos de cámara y algunos elementos adicionales que se utilizan como son las correderas.

PDFS

Los pdfs utilizados en la multimedia, están a disposición del usuario en todo momento, sobre todo para reforzar el módulo de la cámara frigorífica tipo Industrial donde se hace mención a las válvulas particulares que maneja el caso tipo.

Figura 58. Tabla de Catálogos de la Multimedia



Fuente: Multimedia de la Herramienta Computacional para el cálculo de cargas y diseño de Cámaras Frigoríficas

Animaciones Flash

Las animaciones flash en la multimedia se encuentran en el módulo de cámara frigorífica tipo industrial para comprender el funcionamiento del frigorífico tipo industrial mediante el estudio del "Frigorífico metropolitano". También existen animaciones exe en la multimedia, que se utilizaron sobre todo en la parte de compresores, para entender el funcionamiento de estos equipos.

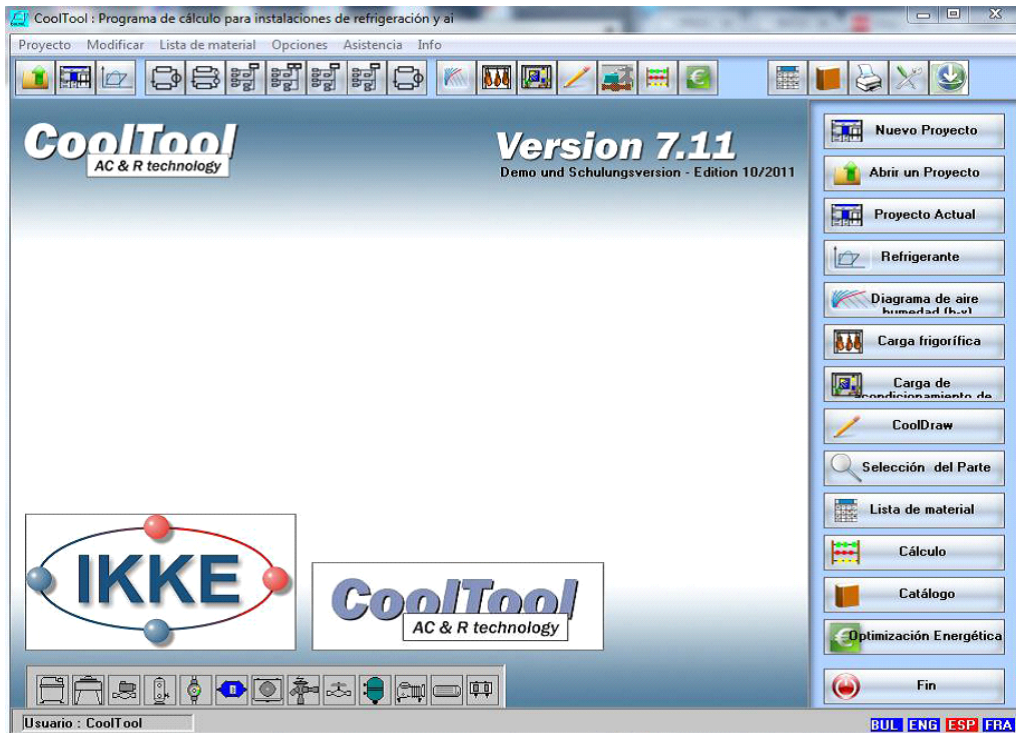
6. PROGRAMAS OFRECIDOS EN EL MERCADO

6.1. PROGRAMA COOLTOOL: THE STANDARD IN TECHNICAL SOFTWARE FOR REFRIGERATION AND AIR CONDITIONING

El programa Cooltool es un programa técnico en refrigeración y aire acondicionado. La versión que se expone a continuación es demo y contiene las siguientes características:

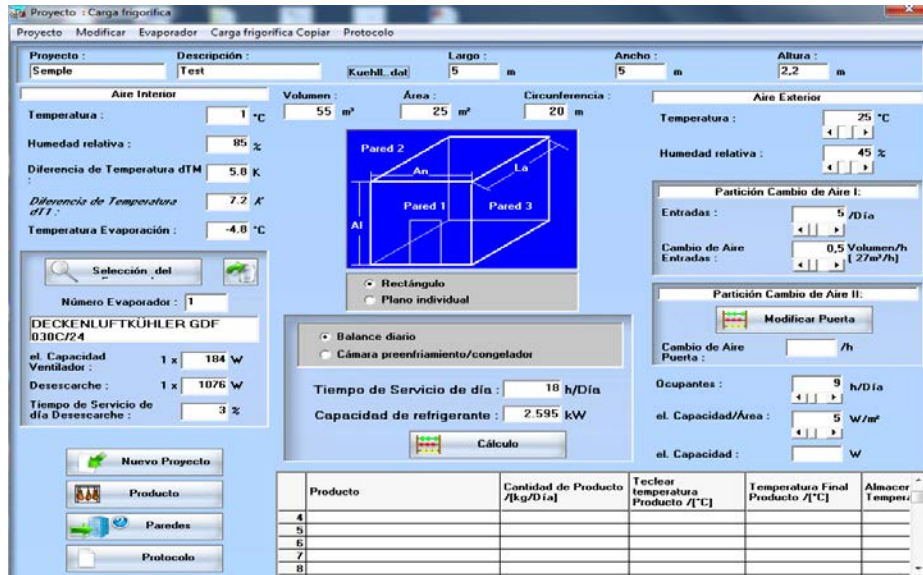
- Diagramas de los diferentes tipos de refrigerantes, propiedades térmica, entalpía, presión y temperatura
- Diferentes tipos de proyectos desde etapa simple, doble, evaporación directa, Monoflow, sistema agua fría, evaporación inundada, bomba de calor
- Diagrama de aire humedad
- Cálculo capacidad carga frigorífica
- Cálculo capacidad carga de acondicionamiento de aire
- Diagrama de flujo, esquema eléctrico
- Accesorios, compresor, evaporador
- Tiempo montaje, Material, coste de mano de obra
- Optimización energética: calculo costes de operación

Figura 59. Pantalla de inicio de Programa Cool tool



Fuente: Programa CoolTool

Figura 60. Cálculo de Capacidad de Carga Frigorífica

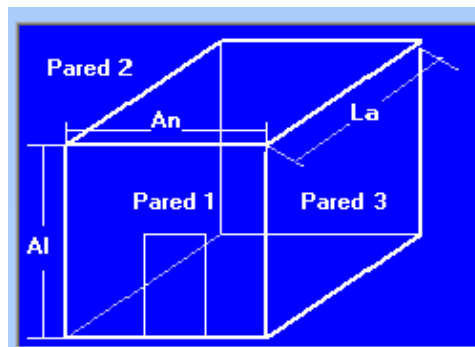


Fuente: Programa CoolTool

La Figura 60 permite visualizar el cálculo de cargas para cámaras frigoríficas teniendo en cuenta las siguientes características

- Aire interior: temperatura, humedad relativa, diferencia de temperatura, temperatura evaporación
- Aire exterior: Temperatura, humedad relativa.
- Dimensiones: largo, ancho, altura, volumen, área, circunferencia.
- Partición cambio de aire 1: entradas, cambio de aire entradas
- Partición cambio de aire 2: modificar puertas
- Balance diario: Tiempo de servicio de día, capacidad de refrigerante.
- Selección del evaporador: número evaporador, capacidad ventilador, descarche. Tiempo de servicio de día descarche.
- Listado de producto: carne, pescado, verdura, lácteos, fruta, varias mercancías, productos técnicos, metal.

Figura 61. Diseño de una cámara Frigorífica



Fuente: Programa Cool Tool.

Figura 62. Características del producto

Producto Proyecto

Producto	Carne	Pescado	Verdura	Lácteos	Fruta	Varias mercancías	Productos Técnicos	Metal
1	Aves de corral, congelar	-18	90-95	6-8 Semanas	-2,7	3,3	1,76	246
2	Aves de corral, fresco	0	85-90	1 Semana	-2,7	3,3	1,76	246
3	Beefsteak, congelar	-18	90-95	9-12 Semanas	-2	3,20	1,67	231
4	Beefsteak, fresco	0/-1	88-92	1-6 Semanas	-2	3,20	1,67	231
5	Carne de cerdo, congelar	-18	90-95	4-6 Meses	-2	2,13	1,3	128
6	Carne de cerdo, fresco	0/+1	85-90	3-7 Dias	-2	2,13	1,3	128
7	Carne de ternera, fresco	0/+1	90-95	5-10 Dias	-2	3,08	1,67	223
8	Carne de cordero, congelar	-18	90-95	8-10 Meses	-2	3,00	1,86	216
9	Carne de cordero, fresco	0/+1	85-90	5-12 Dias	-2	3,00	1,86	216
10	Conejo, congelar	-18	90-95	2-6 Semanas	-2,7	3,1	1,67	228

Temperatura Aire Interior: 1 °C Área: 25 m² Producto: Carne Ocupación/Volumen: kg/m³ Teclar temperatura Producto: °C
 Humedad relativa: 85 % Volumen: 55 m³ Rotación/Día: /Día Cantidad de Producto: kg/Día
 Circunferencia: 20 m

Producto	Cantidad de Producto /kg/Día	Teclar temperatura Producto /°C	Temperatura Final Producto /°C	Almacenamiento Temperatura /°C
1 Kaninchen, frisch	300	22	22	1
2 Mohrrüben	300	22	22	1
3				
4				
5				

Fuente: Programa Cool Tool

Figura 63. Dimensiones paredes de la cámara

Coeficiente de transmisión térmica: 0,27 W/m²K Temperatura Aire Exterior: 30 °C

Coeficiente de transmisión térmica: 0,35 W/m²K Temperatura Aire Exterior: 30 °C

Coeficiente de transmisión térmica: 0,35 W/m²K Temperatura Aire Exterior: 30 °C

Coeficiente de transmisión térmica: 0,3 W/m²K Temperatura Aire Exterior: 30 °C

Coeficiente de transmisión térmica: 0,27 W/m²K Temperatura Aire Exterior: 30 °C

Coeficiente de transmisión térmica: 0,25 W/m²K Temperatura Suelo: 12 °C

Fuente: Programa CoolTool.

6.2. PROGRAMA INSTAWIN 2005

Para el estudio de este programa se tomó la versión Demo de caducidad de 30 días. Se tuvieron en cuenta los ejemplos permitidos.

El nombre del programa y sus herramientas se presentan a continuación:

Figura 64.Presentación Programa Instawin

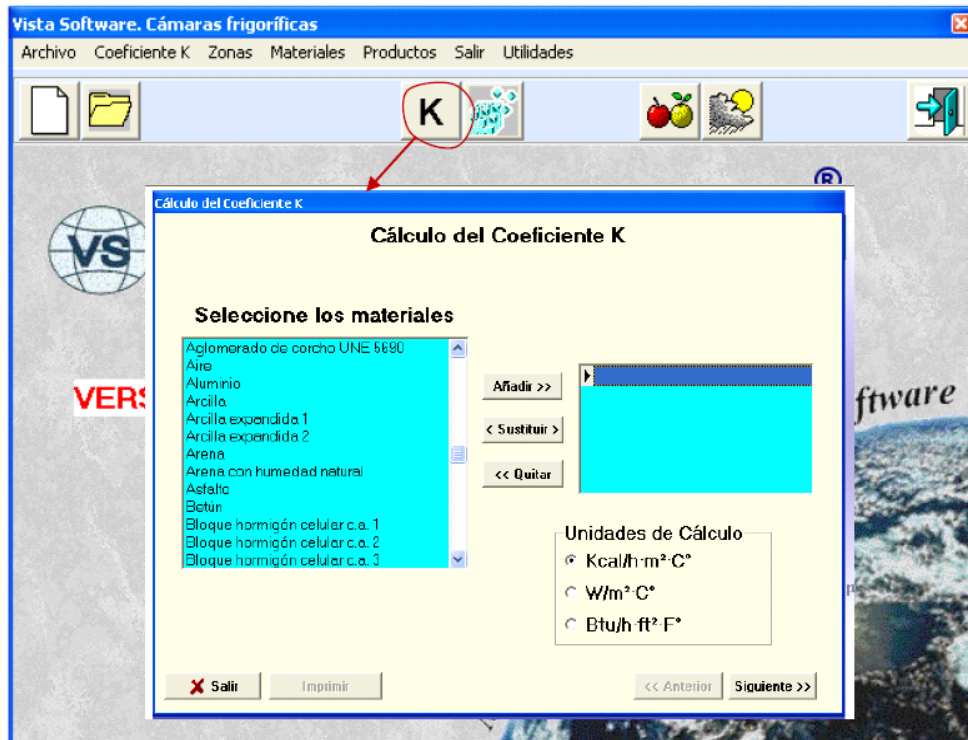


Fuente: Programa Instawin

En la barra de herramientas se puede observar un vínculo encerrado con un círculo rojo, el cual tiene como función principal agregar los materiales que se desean en el

programa. Estos materiales están en una base de datos echa previamente, la cual viene incorporada en el programa.

Figura 65. Cálculo del coeficiente k en el programa Instawin



Fuente: Programa Instawin

La figura 66 muestra la base de datos de los diferentes componentes y materiales aislantes que se pueden encontrar durante el proceso de diseño de las cámaras frigoríficas

Figura 66. Materiales aislantes en el Programa Instawin

Material	Densidad	Conductividad Térmica [Kcal/m°C]	Conductividad Térmica [W/m°C]
Aglomerado de coche UNE 5650	110	0.034	0.0344
Aire		0.025	0.023
Aluminio	2700	1.75	233
Arcilla	2100	0.8	0.928
Arcillo expandido 1	300	0.073	0.06458
Arcillo expandido 2	450	0.058	0.11358
Arena	1500	0.5	0.158
Arena con humedad natural	1700	1.2	1.392
Asfalto	2100	0.6	0.696
Betún	1000	0.15	0.174
Bloque hormigón celular c.a. 1	800	0.38	0.4438
Bloque hormigón celular c.a. 2	1000	0.48	0.56
Bloque hormigón celular c.a. 3	1200	0.6	0.7
Bloque hormigón celular c.v. 1	600	0.3	0.348
Bloque hormigón celular c.v. 2	800	0.35	0.41
Bloque hormigón celular c.v. 3	1000	0.4	0.47
Bloque hueco hormigón 1	1000	0.30	0.4408
Bloque hueco hormigón 2	1200	0.42	0.4872
Bloque hueco hormigón 3	1400	0.48	0.5568
Bloque hueco hormigón 4	1000	0.53	0.6148

Fuente: Programa Instawin

La figura 67 muestra la base de datos de los diferentes alimentos o productos que contiene y maneja el programa

Figura 67. Lista de Producto en el programa Instawin

Producto	TempConserv	TempCong	Humedad	CalorEspConserv	CalorEspCong	CalorLatente	Tponico
Caulas	2	-20	85	0.83	0.45	67	
Cerdo	2	-15	85	0.67	0.37	47	
Crema helada	-15	-30	85	0.70	0.45	53	
Espárragos	2	-20	85	0.95	0.44	75	
Fiambuesas	2	-20	85	0.92	0.48	69	
Fresos	2	-20	90	0.92	0.47	72	
Habas	2	-20	85	0.92	0.47	71	
Helados	-15	-30	85	0.8	0.4	51	
Hielo	-4	-10	85	1	0.5	50	
Higos	7	-20	85	0.82	0.48	62	
Judías verdes	2	-20	90	0.92	0.47	71	
Manteca de Cerdo	4	-10	85	0.54	0.36	36	
Mantequilla	2	-15	85	0.64	0.34	47	
Manzanas	2	-20	85	0.92	0.39	67	
Marisco	0	-20	85	0.94	0.45	67	
Melocotones	1	-20	90	0.92	0.42	70	
Melones	1	-20	85	0.9	0.35	71	
Peras	1	-20	90	0.9	0.45	67	
Pescado Fresco	-1	-20	95	0.82	0.41	61	
Ternero	2	-20	85	0.7	0.4	51	

FUENTE: PROGRAMA INSTAWIN

El siguiente ícono presenta una base datos con información de las diferentes ciudades (Solo para España) y sus respectivas condiciones ambientales.

Figura 68. Lista de Zonas Climáticas en el programa Instawin

CIUDAD	TSUELO	TEXTINV	TEXTVER	HREKTVER	TMAXREG	VARDIATEMP (GRADO)
Lérida	6	0	36	49	39	14
Logroño	7	3	33	60	40.4	14
Lugo	7	3	30	72		12
Madrid	6	0	34	42	38.4	14
Madrid	8	5	31	69	36	10
Málaga	8	5	34	62	41	8
Murcia	8	5	36	52	44.7	12
Oviedo	7	3	26	64	43.6	13
Oviedo	7	3	27	76	36.4	8
Palencia	6	0	34	52	39	16
Palma de Mallorca	6	5	32	69	36	10
Pamplona	6	0	32	59	39	13
Sabadell	7	3	33	65		
Salamanca	5	-2	34	49	40.6	17
San Sebastián	6	5	33	81	38.6	6
Santa Cruz de Tenerife	12	10	32	55	41	0
Santander	6	5	25	80	38.5	6
Santiago	6	5	28	70	37	12
Segovia	5	-2	33	46	39.7	15
Sevilla	6	5	40	49	46.6	16

Fuente: Programa Instawin

Para iniciar los cálculos de la cámara frigorífica, lo primero que se define es la ubicación de la cámara frigorífica, el tipo de unidades que se van a usar y las dimensiones de una placa aislante con su respectivo espesor.

Figura 69. Cálculo de Cámaras Frigoríficas

Cálculo de Cámaras Frigoríficas

Selección de una Ciudad
Lérida

Unidades K
 Kcal/h W

Temperatura ambiente exterior Verano 36
Humedad relativa exterior Verano 49
Temperatura interior de la Cámara 5
Humedad relativa interior de la Cámara 85

Dimensiones de una placa Aislante
Largo (Cm) 200
Alto (Cm) 100
Ancho (Cm) 5

Espesor total del Aislamiento 20 Cm

Salir Imprimir Anterior Siguiente

Fuente: Programa Instawin

Luego de definir el lugar y la placa, se tiene en cuenta los requerimientos de la Figura 70 para especificar la superficie de la cámara, su altura, remociones del aire. En el caso de la cámara y sus elementos (paredes, suelo, cubierta) el programa permite el acceso a la base de datos donde se encuentran los diferentes materiales aislantes.

Con los datos suministrados el programa calcula las ganancias de calor a través de las paredes, suelo y techo.

Figura 70. Cálculo de Cámaras Frigoríficas - Dimensiones de la Cámara

The screenshot shows a software window titled "Cálculo de Cámaras Frigoríficas". It contains several input fields for defining the dimensions and properties of a refrigeration chamber. The fields are organized as follows:

- Dimensiones de la Cámara:** Superficie de la Cámara m² (150), Altura media (3), N° de Renovaciones Aire (72,5 m³/h).
- Pared 1:** Longitud Pared 1 (13,84), Superficie Puerta (9), K (0,12).
- Pared 2:** Longitud Pared 2 (6,5), K (0,12).
- Pared 3:** Longitud Pared 3 (13,84), K (0,12).
- Pared 4:** Longitud Pared 4 (6,5), K (0,12).
- Cubierta:** Superficie Cubierta (150), K (0,12).
- Suelo:** Superficie Suelo (150), K (0,12).

At the bottom, there are buttons for "Salir", "Imprimir", "Anterior", and "Siguiete".

Fuente: Programa Instawin

El paso a seguir es definir el tipo de producto, temperatura de congelación de la carga, calor específico antes y después de la congelación, calor latente del producto, temperatura de entrada, carga diaria de la cámara, número de horas de funcionamiento de los equipos y un porcentaje de pérdidas diversas.

Figura 71. Cálculo de Cámaras Frigoríficas - Otras Características

The screenshot shows a software window titled "Cálculo de Cámaras Frigoríficas". Inside, there is a list of input fields with their corresponding values:

Temperatura del punto de congelacion de la carga.....:	-2
Calor específico del producto ANTES de la solidificación.....:	0,77
Calor específico del producto DESPUES de la solidificación.....:	0,42
Calor latente del producto.....:	56
Temperatura de entrada de la carga.....:	5
Carga diaria de la Cámara en Kilos.....:	5000
Número de horas de funcionamiento de los grupos.....:	16
Coefficiente de Operación de los Grupos.....:	1,8
% de Incremento por diversas pérdidas.....:	10

Below the input fields is a button labeled "Informacion Productos". At the bottom of the window, there are four buttons: "Salir" (with a red X icon), "Imprimir", "Anterior" (with a left arrow icon), and "Siguiente" (with a right arrow icon).

Fuente: Programa Instawin

Luego el programa realiza los cálculos necesarios de la carga frigorífica y muestra una tabla de resultados con los siguientes datos:

Figura 72. Cálculo de Cámaras Frigoríficas - Resultados

Cálculo de Cámaras Frigoríficas	
Calor por transmisión a través de cerramientos	1536,51
Calor por entrada de aire	13,40
Calor por electromotores	2216,50
Calor por la carga diaria de la cámara	0,00
Calor por diversas pérdidas	376,64
Carga Térmica en Kcal/h	4143,04
Carga Térmica total diaria en Kcal	81701,07
Kilovatios hora consumidos al día	52,53
Potencia a suministrar por los grupos en Kcal/h	5106,32
Potencia necesaria de los grupos en Kw	3,28
Potencia necesaria de los grupos en CV	4,46
Horas de funcionamiento de los grupos	16,00
Coefficiente de operación de los grupos (COP)	1,80
Superficie de la cámara a aislar (m2)	413,04
Número de placas aislantes	827
Superficie de placas aislantes	1654,00

Salir Imprimir Anterior Siguiente

Fuente: Programa Instawin

En este punto el usuario puede tener acceso impreso a los valores de los diferentes ítems para el cálculo de lo potencia necesaria para la selección del compresor.

6.3. PROGRAMA WINREF

WINREF es un programa que se maneja en el ambiente Windows 98 y se encuentra disponible en versión completa por la web, aunque para su empleo es necesario utilizar un emulador o de otra forma el programa no tendrá ninguna compatibilidad.

Este programa al ser una versión completa permite al usuario definir sus propios datos para el cálculo de una cámara frigorífica. A continuación se mostrarán los pasos a seguir para el buen funcionamiento de este programa.

✓ Selección del producto:

Carnes, Legumbres y verduras, Frutas, Pescados y Mariscos, Lácteos y productos misceláneos.

En la parte inferior izquierda se despliega un menú con los productos dependiendo del ítem seleccionado, después de seleccionado el programa muestra en el lado inferior derecho información acerca del producto: Temperatura almacenamiento, Humedad relativa, Duración del almacenamiento, Punto congelación, Contenido de agua.

Figura 73. Selección del Producto



Fuente: VERSION DEMOS - INTERNET

✓ Cálculo de la carga:

El segundo paso es calcular la carga para el enfriamiento del producto incluyendo congelación y eventual subenfriamiento.

Los datos que el usuario introduce son cantidad diaria del producto a congelar y la temperatura del producto al entrar al almacén.

Con los datos anteriores, en la parte inferior el programa muestra las cargas totales de enfriamiento del producto.

Figura 74. Enfriamiento del producto

The screenshot shows a software window titled "Enfriamiento de la mercancía (Qu)". It has three tabs: "Enfriamiento de la mercancía (Qu)", "Compensación de pérdidas (Qp)", and "Elementos del equipo". Under the first tab, there are sub-tabs: "Selección del producto", "Qu1", "Qu2", "Qu3", "Qe", and "Qu Total". The "Qu2" sub-tab is active, and the title is "ENFRIAMIENTO INCLUYENDO CONGELACIÓN Y EVENTUAL SUBENFRIAMIENTO (Qu2)".

The "Mercancía" is set to "CERDO CONGELADO". The input fields are as follows:

Cantidad [kg]:	1000	Introduzca un valor entre 50 y 50000
Contenido en agua [%]	38	
Calor específico antes de congelar [kJ/(kg·K)]	2.11	
Calor específico tras la congelación	1.3158	
Calor latente de congelación [kJ/kg]	126.73	
Temperatura [°C] al entrar en el almacén (Te)	25	
Temperatura [°C] durante la congelación (Tc)	-2	
Temperatura [°C] al final del enfriamiento (Tf)	-18	

The output section, "Enfriamiento y congelación del alimento (kJ/día)", shows:

Enfriar:	56969
Congelar:	126730
Subenfriar:	21052
Total:	204751

Buttons for "Recalcular" and "Siguiente >>" are located at the bottom right.

Fuente: VERSION DEMOS - INTERNET

✓ Cálculo del Calor

El tercer paso es calcular el calor a absorber debido al empaque del producto en el caso que el producto lo necesite. Los datos que el usuario introduce son el tipo empaque que selecciona de un menú desplegable y su masa.

En la parte inferior el programa muestra el cálculo del calor que se debe absorber del empaque del producto.

Figura 75. Selección del tipo de Empaque

The screenshot shows a software window titled "Enfriamiento de la mercancía (Qu)". At the top, there are three tabs: "Enfriamiento de la mercancía (Qu)", "Compensación de pérdidas (Qp)", and "Elementos del equipo". Below the tabs, there are sub-tabs for "Selección del producto", "Qu1", "Qu2", "Qu3", "Qu", and "Qu total". The main area is titled "ENFRIAMIENTO DEL EMBALAJE (Qe)" and contains the following information:

- Mercancía: ANANAS VERDES
- Cantidad [kg]: 100
- Temperatura inicial [°C]: 25
- Temperatura final [°C]: 11.5
- Tipo de envase: A granel (highlighted with a red circle)
- No debe enfriarse embalaje alguno
- Frío destinado al embalaje (kJ/día)

At the bottom right, there are two buttons: "Resolver" and "Siguiente >>".

Fuente: VERSION DEMOS – INTERNET

Figura 76. Cálculo de carga por enfriamiento del empaque

The screenshot shows a software window with the following elements:

- Tabbed Interface:** Three tabs are visible at the top: 'Enfriamiento de la mercancía (Qc)' (selected), 'Compensación de pérdidas (Ep)', and 'Elementos del equipo'.
- Sub-tabs:** Below the main tabs, there are sub-tabs: 'Selección del producto', 'Qm', 'Qc2', 'Qc3', 'Qc' (selected), and 'Qc Total'.
- Section Header:** 'ENFRIAMIENTO DEL EMBALAJE (Qe)'
- Product Name:** 'Mercancía: CERDO CONGELADO'
- Input Fields:**
 - 'Cantidad [kg]': 1000
 - 'Temperatura inicial [°C]': 25
 - 'Temperatura final [°C]': -18
 - 'Tipo de envase': A granel (dropdown menu)
 - 'Frio destinado al embalaje (kJ/día)': 0
- Buttons:** 'Recalcular' and 'Siguiente >>' are located at the bottom right.

Fuente: VERSION DEMOS – INTERNET

Al final el programa muestra la carga total por enfriamiento de la mercancía.

Figura 77. Carga Total enfriamiento de la Mercancía

The screenshot shows a software window titled "Enfriamiento de la mercancía (Qu)". It has three main tabs: "Enfriamiento de la mercancía (Qu)", "Compensación de pérdidas (Qp)", and "Elementos del equipo". Under the active tab, there are sub-tabs for "Selección del producto", "Qu1", "Qu2", "Qu3", "Qe", and "Qu Total". The main area displays the following information:

- ENFRIAMIENTO DE LA MERCANCIA (Qu)
- Mercancía: CERDO CONGELADO
- Refrigeración de la mercancía (sir llegar a congelar) [Qu1]
- Congelación y eventual subenfriamiento [Qu2]
- Absorción del calor desprendido por ciertos alimentos [Qu3]
- Refrigeración del embalaje [Qe]
- TOTAL (Qu) : $Qu1 + Qu2 + Qu3 + Qe$

A red circle highlights the "TOTAL (Qu)" result of 204751. A button labeled "Siguiete >>" is located at the bottom right of the window.

Fuente: VERSION DEMOS - INTERNET

- ✓ Cálculo del calor a través de las paredes y definición de tipo de Aislante

El cuarto paso es calcular el calor a través de las paredes y definir el tipo de aislante. Para esto el usuario define las medidas de la cámara, la temperatura exterior, el color de las paredes (claras, medias u oscuras), el aislante y su espesor. En la parte inferior el programa muestra el calor total a través de las paredes.

Figura 78. Pérdidas a través de las paredes, techo y piso

The screenshot shows a software window titled "Compensación de pérdidas (Qp)". It has three tabs: "Enfriamiento de la mercancía (Q_u)", "Compensación de pérdidas (Q_p)", and "Elementos del equipo". The "Compensación de pérdidas (Q_p)" tab is active, and it contains sub-tabs for "Q_{p1}", "Q_{p2}", "Q_{p3}", "Q_{p4}", "Q_{p5}", and "Q_{p Total}".

The main section is titled "PÉRDIDAS DE FRÍO A TRAVÉS DE LAS PAREDES (Q_{p1})". It includes the following fields and options:

- Dimensiones interiores:** Ancho: 12, Alto: 8, Largo: 12.
- Temperatura interior [°C]:** -18.
- Áislante:** ESPUMA POLIURETANO 28/32 kg/m³.
- Espesor en cm:** 25.
- Color:** Radio buttons for Claro (selected), Medio, and Oscuro.
- Checkboxes:** Checked for ESTE, SUR, OESTE, and TECHO.

Below these fields is a table showing "Pérdidas por transmisión en las paredes [kJ/día]":

ESTE:	42598	TECHO:	67138
SUR:	41672	PISO:	61351
OESTE:	42598	NORTE:	40900
TOTAL:	296257		

At the bottom right, there are buttons for "Recalcular" and "Siguiente >>".

Fuente: VERSION DEMOS - INTERNET

✓ Humedad Relativa

El quinto paso es definir la humedad relativa exterior para el cálculo de las pérdidas por ventilación.

El usuario define la temperatura y la humedad relativa del aire exterior y el programa realiza el cálculo de los datos necesarios como son: Humedad Absoluta, Entalpía específica, densidad del aire húmedo y la entalpía absoluta.

Figura 79. Pérdidas por ventilación

Enfriamiento de la mercancía (Qu) **Compensación de pérdidas (Qp)** Elementos del equipo

Qp1 **Qp2** Qp3 Qp4 Qp5 Qp Total

PÉRDIDAS POR ENFRIAMIENTO Y DESECACIÓN DEL AIRE DE RENOVACIÓN (Qp2)

	CONDICIONES INTERIORES	CONDICIONES EXTERIORES
Temperatura del aire [°C]	-18	35
Humedad relativa [%]	93	50
Humedad abs. [g vapor/kg aire seco]	0.71	17.77
Entalpía específica [kJ/kg]	-16.31	80.74
Densidad del aire húmedo [kg/m3]	1.38	1.13
Entalpía absoluta [kJ/m3]	-22.54	91.47

Esesor de las paredes [cm]:

Volumen interior de la cámara [m3]:

Nº de renovaciones de aire por día:

Pérdidas por ventilación [kJ/día]

Introduzca un valor entre 0 y 100

Fuente: VERSION DEMOS - INTERNET

- ✓ Cantidad de motores en la cámara

El sexto paso es definir la cantidad de motores dentro de la cámara con su respectiva potencia y el número de horas de trabajo. El programa permite que se incluya un valor adicional de calor aportado por otro tipo de máquinas que se encuentren ubicadas dentro de la cámara. Este dato se puede introducir en la parte inferior izquierda de la pantalla. El resultado del calor aportado por los motores se muestra en la pantalla en la parte superior derecha.

Figura 80. Pérdidas de calor por máquinas

The screenshot shows a software interface for calculating heat losses from machines. The interface is titled "Compensación de pérdidas (Qp)" and is part of a larger application with tabs for "Enfriamiento de la mercancía (Qu)" and "Elementos del equipo". The current tab is "Qp3".

The main section is titled "CALOR APORTADO POR MOTORES Y MÁQUINAS (Qp3)". It contains two main input areas:

- Evaporadores de circulación forzada:** This section includes:
 - "Número de motores de ventiladores:" with a value of 2 (circled in red). A tooltip indicates "Introduzca un valor entre 0 y 6".
 - "Tiempo de funcionamiento [h/día]:" with a value of 12 (circled in red).
 - A checkbox "Todos tienen igual potencia" which is unchecked.
 - "Potencia [kW] Motor 1" with a value of 0.75 (circled in red).
 - "Potencia [kW] Motor 2" with a value of 1.5.
- Pérdidas por calor de máquinas (kJ/día):** This section shows a summary of heat losses:
 - "Motores (ventiladores):" with a value of 19440.
 - "Otras máquinas:" with a value of 0.
 - "Total:" with a value of 19440.

At the bottom, there is a checkbox "Hay otras máquinas trabajando en la sala" which is checked (circled in red). Below it, there are input fields for "Tiempo de funcionamiento [h/día]:" (value 8) and "Potencia total [kW]".

Buttons for "Recalcular" and "Siguiente >>" are located at the bottom right.

Fuente: VERSION DEMOS - INTERNET

- ✓ Número de personas necesarias en la cámara

El séptimo paso es definir el número de personas trabajando dentro de la cámara para calcular el calor desprendido por ellas. El usuario define el número de personas y el tiempo de permanencia dentro de la cámara, con estos datos el programa procede a realizar el cálculo del calor referido a este ítem.

El calor aportado por las personas es mostrado en la parte inferior de la pantalla con su respectivo valor.

Figura 81. Calor desprendido por personas

The screenshot shows a software interface with the following elements:

- Navigation tabs: **Enfriamiento de la mercancía (Q_u)**, **Compensación de pérdidas (Q_p)**, and **Elementos del equipo**.
- Sub-tabs: **Q_{p1}**, **Q_{p2}**, **Q_{p3}**, **Q_{p4}** (selected), **Q_{p5}**, and **Q_{p Total}**.
- Title: **APORTACIONES DE CALOR DEBIDAS A CIRCULACIÓN Y TRABAJO DE LAS PERSONAS (Q_{p4})**
- Input fields:
 - Temperatura interior [°C]:
 - Número de personas trabajando en la cámara: Introduzca un valor entre 0 y 50
 - Tiempo de permanencia [h/día]:
- Output field: **Pérdidas por calor de personas (kJ/día)**
- Buttons: **Recalcular** and **Siguiente >>**

Fuente: VERSION DEMOS - INTERNET

✓ Calor de la iluminación

El octavo paso es definir el calor aportado por la iluminación dentro de la cámara. Para ello se define una zona de trabajo y una zona de almacén y el número de horas de iluminación.

El usuario define el porcentaje del área total de la cámara para la zona de trabajo o zona de almacén, además del número de horas de funcionamiento de las luces en cada una de las zonas mencionadas

El programa permite que el usuario defina si dentro de la cámara se utilizan luces normales o luces fluorescentes.

Figura 82. Calor Aportado por la Iluminación

Enfriamiento de la mercancía (Q_u) **Compensación de pérdidas (Q_p)** Elementos del equipo

Q_{p1} Q_{p2} Q_{p3} Q_{p4} **Q_{p5}** Q_{p Total}

CALOR APORTADO POR LA ILUMINACIÓN (Q_{p5})

Superficie total de la cámara: 134.66 m²

	Zona trabajo	Zona almacén
Superficie [%]	20	80
[m ²]	26.91	107.65
Uso de fluorescentes	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> Sí
Luces durante [h]	8	

Calor debido a las luces (kJ/día) 20925

Recalcular

Siguiete >>

Fuente: VERSION DEMOS - INTERNET

En el siguiente pantallazo se muestra el calor total que incluye todas las perdidas anteriores (paredes, ventilación, personas, iluminación, motores) con su respectivo valor.

El calor total se muestra dentro de la pantalla en la parte inferior, mostrando cada uno de los componentes que generan una compensación de pérdidas de calor dentro de la cámara.

Figura 83. Calor total por pérdidas

The screenshot shows a software interface with three main tabs: 'Enfriamiento de la mercancía (Qu)', 'Compensación de pérdidas (Qp)', and 'Elementos del equipo'. The 'Compensación de pérdidas (Qp)' tab is active, and within it, the 'Qp Total' sub-tab is selected. The main area displays a list of heat loss components and their corresponding values in a table. The total value, 599600, is circled in red. A 'Siguiente >>' button is located at the bottom right.

COMPENSACION DE PERDIDAS (Qp)	
Aportaciones de calor a través de paredes y techo [Qp1]	296257
Enfriamiento y desecación del aire de renovación [Qp2]	219432
Calor aportado por motores y/o máquinas [Qp3]	19440
Aportaciones de calor debidas a las personas [Qp4]	43546
Calor liberado por la iluminación [Qp5]	20925
TOTAL: Qp1 + Qp2 + Qp3 + Qp4 + Qp5	599600

Fuente: VERSION DEMOS - INTERNET

- ✓ Adición de Factor de Seguridad en la carga Frigorífica

Como siguiente paso el programa calcula la carga frigorífica añadiendo un factor de seguridad, que este caso presenta un valor del 10%, este valor se agrega a la carga

total para enfriar mercancía y para compensar pérdidas. Para esto el usuario introduce el número de horas de funcionamiento del equipo.

El programa muestra la producción frigorífica en la parte inferior de la pantalla, como resultado de los datos introducidos anteriormente por el usuario.

Figura 84. Carga Frigorífica Total

Enfriamiento de la mercancía (Q _u)		Compensación de pérdidas (Q _p)		Elementos del equipo					
Carga frigorífica		Fluidos refrigerantes		Compresores		Evaporadores		Equipo seleccionado	
CARGA FRIGORÍFICA [kJ/día]									
ENFRIAR MERCANCIA [Q _u]									204751
COMPENSAR PÉRDIDAS [Q _p]									599600
<input checked="" type="checkbox"/> Factor de seguridad (10%):				+					80435
<hr/>									
PRODUCCIÓN FRIGORÍFICA BRUTA [Q _t]									884786
Tiempo [h/día] de funcionamiento del equipo [t]:				/					12
<hr/>									
PRODUCCIÓN FRIGORÍFICA [kJ/h] =									73732
PRODUCCIÓN FRIGORÍFICA [frig/h] =									17611
<input type="button" value="Siguiete >>"/>									

Fuente: VERSION DEMOS - INTERNET

Luego de tener la carga total se define el tipo de refrigerante a utilizar. El programa recomienda los refrigerantes dependiendo de la temperatura de trabajo de la

cámara. De los cuales el usuario escoge un refrigerante desde un menú desplegable.

En este caso el programa recomienda un máximo de 3 refrigerantes que se ubican dentro de la tabla en la parte frontal del rango de temperaturas de trabajo. Con estos datos el usuario puede seleccionar uno de los refrigerantes para utilizar.

Figura 85. Refrigerante a Utilizar

TEMPERATURAS EN LA CÁMARA [°C]	REFRIGERANTES MÁS UTILIZADOS
Bajas (-40 a -20)	R-502 / R-134
Medias (-20 a -2)	R-502 / R-134a / R-22
Altas (-2 a +10)	R-134a / R-22

Temperatura prevista [°C]:

Refrigerante recomendado:

Freón a emplear

Siguiete >>

Fuente: VERSION DEMOS - INTERNET

Con el dato anterior se procede a la selección de los equipos como compresor, evaporador y condensador: Para el cálculo del compresor el programa recomienda una diferencia de temperatura entre la temperatura de la cámara y la temperatura de evaporación del refrigerante dependiendo de la humedad relativa dentro de la

cámara. Finalmente se define el modelo de compresor recomendado. En la parte inferior de la pantalla el programa muestra el número de unidades que se deben utilizar para proveer la potencia frigorífica calculada.

Figura 86. Selección del compresor

The screenshot shows a software interface for selecting a compressor. At the top, there are tabs for 'Enfriamiento de la mercancía (Q_u)', 'Compensación de pérdidas (Q_p)', and 'Elementos del equipo'. Under 'Elementos del equipo', there are sub-tabs for 'Carga frigorífica', 'Fluidos refrigerantes', 'Compresores', 'Evaporadores', and 'Equipo seleccionado'. The 'Compresores' tab is active, showing 'COMPRESORES / UNIDADES CONDENSADORAS'.

Input fields include:

- Temperatura [°C] en la cámara (T_f): -18
- Humedad relativa [%]: 93
- Producción frigorífica [frig/h] requerida (Q_h): 17611
- Refrigerante seleccionado: R-134a
- Temperatura [°C] de evaporación del freón (T_{ev}): -23.5

A table titled 'Unidades disponibles:' shows two columns: 'REFRIGERADAS POR AIRE' and 'REFRIGERADAS POR AGUA'. Each column has sub-columns for 'Modelo' and 'Potencia'. The '154PC' model is selected under 'REFRIGERADAS POR AIRE' with a power of 9950. The '154PHC' model is listed under 'REFRIGERADAS POR AGUA' with a power of 10700.

At the bottom, the 'Unidad seleccionada:' is '154PC'. A summary line states: '2 unidades en paralelo. Potencia total: 19900'. A 'Siguiente >>' button is also present.

Fuente: VERSION DEMOS - INTERNET

Para la selección del evaporador se elige un tipo de descarche si la temperatura de evaporación es menor que 0°C. De lo contrario el programa no mostraría el menú que se despliega en la parte izquierda donde se define el tipo de descarche.

El programa muestra la unidad seleccionada en la parte inferior de la pantalla, que es elegido de los evaporadores disponibles, que son mostrados en la parte superior.

Figura 87. Selección del evaporador

Enfriamiento de la mercancía (Q_u) Compensación de pérdidas (Q_p) **Elementos del equipo**

Carga frigorífica Fluidos refrigerantes Compresores **Evaporadores** Equipo seleccionado

EVAPORADORES

Temperatura [°C] de evaporación (T_{ev}):

Temperatura [°C] en la cámara (T_f):

Producción frigorífica [frig/h] requerida (Q_h):

Evaporadores disponibles:

Modelo	Capacidad [frig/h]
<input type="text" value="Ni2-2050"/>	<input type="text" value="15220"/>
<input type="text" value="Ni2-2540"/>	<input type="text" value="19060"/>

Tipo de descarga:

- Eléctrico
- Gas caliente
- Aire
- Agua

Potencia necesaria [kW]: 11.4

Unidad seleccionada:

Fuente: VERSION DEMOS - INTERNET

Finalmente el programa muestra un pantallazo con los equipos seleccionados: compresor, evaporadores, con su respectiva potencia.

Además se muestra los datos de trabajo de la cámara frigorífica como son: Temperatura en la cámara, Humedad relativa y producción frigorífica requerida.

Figura 88. Equipo Seleccionado

Enfriamiento de la mercancía (Q _u)		Compensación de pérdidas (Q _p)		Elementos del equipo	
Carga frigorífica		Fluidos refrigerantes		Compresores	
Evaporadores		Equipo seleccionado			
ELEMENTOS DEL EQUIPO					
Temperatura [°C] en la cámara (Tf):					-18
Humedad relativa [%]:					93
Producción frigorífica [frig/h] requerida (Qh):					17611
EQUIPO SELECCIONADO					
		Modelo		Potencia [frig/h]	
REFRIGERANTE:			R-134a		
COMPRESORES:	2		154PC		19900
EVAPORADOR:			Ni2-2540		19060

Fuente: VERSION DEMOS - INTERNET

7. COMPARACIÓN DE PROGRAMAS PARA EL CÁLCULO DE CÁMARAS FRIGORÍFICAS

En este capítulo se analizará la herramienta computacional contra el programa WINREF, este programa fue descargado de internet y es una versión completa con lo cual el usuario puede definir sus propios datos para el cálculo de la cámara frigorífica.

Para el análisis de la herramienta computacional contra el programa WINREF, se realizó un caso típico que se presenta en el diseño de cuartos frigoríficos sigue unos los pasos que permiten observar las variaciones que se presentan durante la manipulación de cada uno de los programas.

Datos de entrada:

- ✓ Tipo de alimento: Pescados y Mariscos
- ✓ Nombre del Producto: Pescado Congelado
- ✓ Cantidad [kg]:8000
- ✓ Temperatura ambiente [°C]: 25
- ✓ Temperatura al entrar en el almacén [°C]: 25
- ✓ Temperatura de almacenamiento [°C]: - 23
- ✓ Embalaje: Cartón
- ✓ Aislante: Poliestireno extruido
- ✓ Espesor [cm]:21.4
- ✓ Dimensiones interiores
- ✓ Ancho [m]:4
- ✓ Alto [m]:4
- ✓ Largo [m]:4
- ✓ Humedad relativa exterior [%]: 70

7.1. CARGA DEL PRODUCTO

7.1.1. Carga del producto WINREF

En la carga del producto de la herramienta WINREF, primero hay que buscar y seleccionar el nombre del producto, esto se hace mediante las imágenes interactivas que dan a entender el tipo de alimentos que ellos contienen.

Figura 89. Selección del producto con WINREF



Fuente: Autores

Después de seleccionado, se introduce la cantidad del producto, la temperatura de entrada y la temperatura de almacenamiento

Figura 90. Introducción de datos del producto de WINREF

CÁLCULO DE CARGAS FRIGORÍFICAS

Enfriamiento de la mercancía (Q_u) | Compensación de pérdidas (Q_p) | Elementos del equipo

Selección del producto | Q_{u1} | **Q_{u2}** | Q_{u3} | Q_e | Q_u Total

ENFRIAMIENTO INCLUYENDO CONGELACIÓN Y EVENTUAL SUBENFRIAMIENTO (Q_{u2})

Mercancía: **PESCADO CONGELADO**

Cantidad [kg]:	8000
Contenido en agua [%]	73
Calor específico antes de congelar [kJ/(kg·K)]	3.2825
Calor específico tras la congelación	1.7568
Calor latente de congelación [kJ/kg]	243.455
Temperatura [°C] al entrar en el almacén (T_e)	25
Temperatura [°C] durante la congelación (T_c)	-2.2
Temperatura [°C] al final del enfriamiento (T_f)	-23
Enfriamiento y congelación del alimento (kJ/día)	
Enfriar:	714272
Congelar:	1947640
Subenfriar:	292331
Total:	2954243

Recalcular

Siguiente >>

Monografías de climatización y ahorro energético

Fuente: Autores

A continuación se debe seleccionar el tipo de embalaje que se utilizará para el transporte y cuidado del producto

Figura 91. Selección del Embalaje de WINREF

CÁLCULO DE CARGAS FRIGORÍFICAS

Enfriamiento de la mercancía (Qu) | Compensación de pérdidas (Qp) | Elementos del equipo

Selección del producto | Qu1 | Qu2 | Qu3 | **Qe** | Qu Total

ENFRIAMIENTO DEL EMBALAJE (Qe)

Mercancía: PESCADO CONGELADO

Cantidad [kg]: 8000

Temperatura inicial [°C]: 25

Temperatura final [°C]: -23

Tipo de envase: Cartón o pape

Masa del embalaje: 1200

Frío destinado al embalaje (kJ/día): 77184

Recalcular

Sigüente >>

Monografías de climatización y ahorro energético

Fuente: Autores

Finalmente después de los procedimientos anteriores se obtiene la carga del producto.

Figura 92. Carga del producto de WINREF

Descripción	Valor
Refrigeración de la mercancía (sin llegar a congelar) [Qu1]	0
Congelación y eventual subenfriamiento [Qu2]	2954243
Absorción del calor desprendido por ciertos alimentos [Qu3]	0
Refrigeración del embalaje [Qe]	77184
TOTAL (Qu) : Qu1 + Qu2 + Qu3 + Qe	3031427

Fuente: Autores

7.1.2. Carga del producto de la herramienta computacional

En el caso de la herramienta computacional, se abre el GUIDE del programa y se da click en iniciar.

Figura 93. Inicio de la herramienta Computacional



Fuente: Autores

Después, en la siguiente interfaz es donde se selecciona el tipo de producto, el embalaje y se calcula la carga térmica del producto teniendo en cuenta los otros factores que son la cantidad del producto, tiempo de enfriamiento y la temperatura de entrada del producto, además de eso se puede introducir el número de productos que en el programa de WINREF solo deja ingresar un solo producto.

Figura 94. Cálculo de la carga del producto de la herramienta Computacional

SELECCION DEL PRODUCTO

PESCADOS Y MARISCOS

- BACALAO
- EGLEFINO
- FLETAN
- ARENQUE
- CABALLA (ATLANTICO)
- PERCA
- ABADEJO DE ATLANTICO
- SALMON
- ATUN
- PESCADILLA
- PESCADO CONGELADO
- ALMEJAS
- LANCOSTA AMERICANA

CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO

CONTENIDO DE AGUA [%]	70.00
TEMPERATURA INICIAL DE CONGELACION [°C]	-2.20
CALOR ESPECIFICO ENCIMA DE LA CONGELACION [kJ/(kg·K)]	3.18
CALOR ESPECIFICO DEBAJO DE LA CONGELACION [kJ/(kg·K)]	1.72
CALOR LATENTE DE FUSION [kJ/kg]	235.00
CALOR DE RESPIRACION [°0] [W/kg]	0.00
CALOR DE RESPIRACION [°10] [W/kg]	0.00
CALOR DE RESPIRACION [°15] [W/kg]	0.00
HUMEDAD RELATIVA [%]	93.00
TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO [°C]	-10
DURACION APROXIMADA [DIAS]	240 / 300

ENFRIAMIENTO DE LA MERCANCIA

Producto: **PESCADO CONGELADO**

NUMERO DE PRODUCTOS: 1 AGREGAR

DATOS DE ENTRADA:

Cantidad [kg]	8000
Temperatura [°C] al entrar en el almacen	25
Tiempo de enfriamiento [Hora]	24

ENFRIAMIENTO DE LA MERCANCIA HASTA LA TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO:

Temperatura [°C] al final del enfriamiento:

ENFRIAMIENTO INCLUYENDO Y EVENTUAL SUBENFRIAMIENTO:

Temperatura [°C] durante la congelacion: -2.2

Temperatura [°C] al final del enfriamiento: -23

ENFRIAMIENTO DEL EMBALAJE:

Tipo de envase: CARTON O PAPEL

CALCULO DE CARGA

Refrigeracion de la mercancia (sin llegar a congelar): 0

Congelacion y eventual subenfriamiento: 2.85818e+006

Calor de respiracion: 0

Refrigeracion del embalaje: 77760

Carga total del producto [kJ/dia]: 2.93594e+006

Carga total del producto acumulada [kJ/dia]: 2.93594e+006

SIGUIENTE

TABLA DE PRODUCTOS

Producto	Qsincongelar [kJ/dia]	Qsubenfriamiento [kJ/dia]	Qrespiracion [kJ/dia]	Qembalaje [kJ/dia]	Qpr
1 PESCADO C...	0	2858176	0	77760	2935936

Fuente: Autores

7.2. CARGA POR PERDIDAS

Para el cálculo de la carga por perdidas, hay que tener en cuenta lo siguiente:

- Paredes
- Infiltraciones
- Luces
- Personas
- Motores

7.2.1. Paredes

7.2.1.1. Paredes con WINREF

Para el cálculo de la carga por pérdida por parte de las paredes en WINREF, se debe seleccionar primero la pestaña compensación de pérdidas y seleccionar el espesor del aislante utilizado en la cámara además de introducir la geometría que contara la cámara frigorífica.

Figura 95. Pérdida de Carga, Paredes, WINREF

CÁLCULO DE CARGAS FRIGORÍFICAS

Enfriamiento de la mercancía (Qu) | **Compensación de pérdidas (Qp)** | Elementos del equipo

Qp1 | Qp2 | Qp3 | Qp4 | Qp5 | Qp Total

PÉRDIDAS DE FRÍO A TRAVÉS DE LAS PAREDES (Qp1)

Dimensiones interiores:

Ancho: 4

Alto: 4

Largo: 4

ESTE: 25 Expuesta al sol

SUR: 25 Expuesta al sol

OESTE: 25 Expuesta al sol

TECHO: 25 Expuesta al sol

PISO: 25

NORTE: 25

Temperatura interior [°C]: -23

Aislante: POLIESTIRENO EXTRU. 25/30 kg/m³

Espesor en cm: 21.4

Pérdidas por transmisión en las paredes [kJ/día]

ESTE:	10457	TECHO:	10457
SUR:	10457	PISO:	10457
OESTE:	10457	NORTE:	10457
TOTAL:	62742		

Recalcular

Siguiete >>

Monografías de climatización y ahorro energético

Fuente: Autores

7.2.1.2. Paredes con la herramienta computacional

La herramienta computacional cuenta con una serie de pestañas, las cuales se habilitaran continuamente después de haber realizado y completado la información en cada una de ellas. En la pestaña de paredes, es necesario introducir la geometría de la cámara de refrigeración y seleccionar el tipo de aislante que utilizara la cámara.

Figura 96. Pérdida de carga, paredes, herramienta computacional

The screenshot shows a software window titled "PAREDES" with the following sections:

- PERDIDAS DE FRIO A TRAVES DE LAS PAREDES**
 - DIMENSIONES INTERIORES:** ANCHO [m] = 4, ALTO [m] = 4, LARGO [m] = 4.
 - Temperatura Exterior [°C] = 25
 - Temperatura interior [°C] = -23
 - Aislante: POLIESTIRENO, EXTRUIDO (R-142b)
 - Espesor [cm] = 21.4
- PAREDES:** NORTE, SUR, ESTE, OESTE, TECHO, PISO, each with a value of 25. Each has a checkbox for "Expuesta al sol" and a "COLOR" selection (Claro, Medio, Oscuro).
- PERDIDAS EN LAS PAREDES:** A table showing heat loss for each wall type: NORTE (10843.8), SUR (10843.8), ESTE (10843.8), OESTE (10843.8), TECHO (10843.8), PISO (10843.8). The **TOTAL [kJ/dia]** is 65062.7.
- 3D Visualization:** A 3D cube with a red top face and white sides, with axes labeled 0, 2, 4.
- Buttons:** CALCULAR and SIGUIENTE.

Fuente: Autores

7.2.2. Infiltración

7.2.2.1. Infiltración con WINREF

Para el cálculo de las infiltraciones, como dato de entrada tenemos la temperatura ambiente y la humedad. Los demás datos son obtenidos en el paso anterior, en el cálculo de pérdidas por las paredes.

Figura 97. Infiltración con WINREF

	CONDICIONES INTERIORES	CONDICIONES EXTERIORES
Temperatura del aire [°C]	-23	25
Humedad relativa [%]	67	70
Humedad abs. [g vapor/kg aire seco]	0.32	13.93
Entalpía específica [kJ/kg]	-22.31	60.57
Densidad del aire húmedo [kg/m ³]	1.41	1.17
Entalpía absoluta [kJ/m ³]	-31.46	71.09

Espesor de las paredes [cm]:	20
Volumen interior de la cámara [m ³]:	47
Nº de renovaciones de aire por día:	10.5

Pérdidas por ventilación [kJ/día]	50248
-----------------------------------	-------

Recalcular

Siguiente >>

Monografías de climatización y ahorro energético

Fuente: Autores

7.2.2.2. Infiltración con la herramienta computacional

Solamente después de haber completado la información de pérdidas a través de las paredes se habilitara la otra pestaña que son filtraciones, en infiltraciones los datos de entrada son la humedad relativa y la temperatura ambiente.

Figura 98. Infiltraciones de la herramienta Computacional

The screenshot shows a software window titled 'INFILTRACION'. The main area is divided into two columns: 'CODICIONES INTERIORES' (Interior Conditions) and 'CODICIONES EXTERIORES' (Exterior Conditions). Each column contains six rows of data with labels and input fields. Below these columns, there are two more rows of data: 'VOLUMEN INTERIOR DE LA CAMARA [m³]' and 'N° DE RENOVACIONES DE AIRE POR DIA'. At the bottom, there are two buttons: 'CALCULAR' and 'SIGUIENTE'. The 'CARGA POR INFILTRACION [kJ/dia]' value is highlighted with a yellow box.

PERDIDA POR INFILTRACION	
CODICIONES INTERIORES	
TEMPERATURA DEL AIRE [°C]	-23
HUMEDAD RELATIVA [%]	93
HUMEDAD ABS. [Kg vapor de agua/ Kg aire seco]	0.00059298
ENTALPIA ESPECIFICA [kJ/kg]	-21.6346
DENSIDAD DEL AIRE HUMEDO [kg/m³]	1.38159
ENTALPIA ABSOLUTA [kJ/m³]	-29.8901

CODICIONES EXTERIORES	
TEMPERATURA DEL AIRE [°C]	25
HUMEDAD RELATIVA [%]	70
HUMEDAD ABS. [Kg vapor de agua/ Kg aire seco]	0.0137801
ENTALPIA ESPECIFICA [kJ/kg]	60.1994
DENSIDAD DEL AIRE HUMEDO [kg/m³]	1.17433
ENTALPIA ABSOLUTA [kJ/m³]	70.6937

VOLUMEN INTERIOR DE LA CAMARA [m³]	64	CARGA POR INFILTRACION [kJ/dia]	56262.5
N° DE RENOVACIONES DE AIRE POR DIA	8.74		

CALCULAR SIGUIENTE

Fuente: Autores

7.2.3. Motores

7.2.3.1. Motores con WINREF

Para el cálculo de las pérdidas por medio de los motores, los datos de entrada son el número de motores, tiempo de operación y su potencia.

Figura 99. Pérdidas de los motores WINREF

CÁLCULO DE CARGAS FRIGORÍFICAS

Enfriamiento de la mercancía (Q_u) | **Compensación de pérdidas (Q_p)** | Elementos del equipo

Q_{p1} | Q_{p2} | **Q_{p3}** | Q_{p4} | Q_{p5} | Q_{p Total}

CALOR APORTADO POR MOTORES Y MÁQUINAS (Q_{p3})

Evaporadores de circulación forzada

Número de motores de ventiladores:

Tiempo de funcionamiento [h/día]:

Todos tienen igual potencia

Potencia [kW] Motor 1

Pérdidas por calor de máquinas (kJ/día)

Motores (ventiladores):

Otras máquinas:

Total:

Hay otras máquinas trabajando en la sala

Recalcular

Siguiente >>

Monografías de climatización y ahorro energético

Fuente: Autores

7.2.3.2. Motores con la herramienta computacional

La opción para calcular las pérdidas generadas por los motores, solo se habilitara después de haber completado la información de infiltraciones. Para el cálculo de la perdida por parte de los motores, es necesario seleccionar algunas de las opciones de motor eléctrico, la potencia, su número de ventiladores y horas de operación.

Figura 100. Pérdidas de los motores con la herramienta computacional

EQUIPOS

CALOR APORTADO POR MOTORES Y MAQUINAS

MOTORES ELECTRICOS

- Motor y Ventilador Dentro del Cuarto (A)
- Motor Fuera y Ventilador Dentro del Cuarto (B)
- Motor Dentro y Ventilador Fuera del Cuarto (C)

Potencia Nominal del Motor [Kw]

Numero de motores de ventiladores

Tiempo de funcionamiento [h/dia]

OTRAS MAQUINAS

Tiempo de funcionamiento [h/dia]

Potencia total [Kw]

PERDIDA POR CALOR DE MAQUINAS

MOTORES (ventiladores)

OTROS EQUIPOS

TOTAL [Kj/Dia]

Fuente: Autores

7.2.4. Personas

7.2.4.1. Personas con WINREF

El cálculo de la pérdida de carga por parte de las personas se realiza teniendo en cuenta la temperatura de almacenamiento del cuarto, el número de personas que utilizan el cuarto y su permanencia.

Figura 101. Pérdida de la carga, personas, WINREF

The screenshot shows a software window titled "CÁLCULO DE CARGAS FRIGORÍFICAS". It has three main tabs: "Enfriamiento de la mercancía (Qu)", "Compensación de pérdidas (Qp)", and "Elementos del equipo". Under the "Compensación de pérdidas (Qp)" tab, there are sub-tabs for "Qp1", "Qp2", "Qp3", "Qp4", "Qp5", and "Qp Total". The "Qp4" sub-tab is selected, and its title is "APORTACIONES DE CALOR DEBIDAS A CIRCULACIÓN Y TRABAJO DE LAS PERSONAS (Qp4)".

Input fields and values:

- Temperatura interior [°C]: -23
- Número de personas trabajando en la cámara: 3
- Tiempo de permanencia [h/día]: 2
- Pérdidas por calor de personas (kJ/día): 8813 (highlighted in yellow)

Buttons at the bottom right: "Recalcular" and "Siguiente >>".

Vertical text on the right side of the window: "Monografías de climatización y ahorro energético".

Fuente: Autores

7.2.4.2. Personas con la herramienta computacional

Para habilitar la pérdida de carga por personas, es necesario haber completado la información de pérdida de carga por los motores. Los datos de entrada en esta parte es la temperatura de almacenamiento del producto, la cantidad de personas y su tiempo de permanencia en la cámara.

Figura 102. Pérdida de la carga, personas Herramienta Computacional

The screenshot shows a software window titled "PERSONAS" with a light blue background. The window contains the following elements:

- Header:** "APORTACION DE CALOR DEBIDAS A CIRCULACION Y TRABAJO DE LAS PERSONAS"
- Input Fields:**
 - Temperatura interior [°C]: -23
 - Numero de personas trabajando en la cámara: 3
 - Tiempo de permanencia [h/dia]: 2
- Output Field:** "PERDIDAS POR CALOR DE PERSONAS [kj/dia]" with a value of 8856, which is highlighted with a yellow border.
- Buttons:** "CALCULAR" and "SIGUIENTE".

Fuente: Autores

7.2.5. Luces

7.2.5.1. Luces con WINREF

Para el cálculo de las pérdidas por parte de las luces se tiene en cuenta los datos anteriormente suministrados en paredes, utilizando la geometría de la cámara frigorífica, como dato de entrada tenemos la cantidad de horas de funcionamiento de las luces.

Figura 103. Pérdida de la carga por luces con WINREF

Enfriamiento de la mercancía (Qu) **Compensación de pérdidas (Qp)** Elementos del equipo

Qp1 Qp2 Qp3 Qp4 **Qp5** Qp Total

CALOR APORTADO POR LA ILUMINACIÓN (Qp5)

Superficie total de la cámara: 12.96 m²

	Zona trabajo	Zona almacén
Superficie [%]	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="100"/>
Superficie [m ²]	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="12.96"/>
Uso de fluorescentes		<input type="checkbox"/> Sí
Luces durante [h]		<input type="text" value="8"/>

Calor debido a las luces (kJ/día)

Monografías de climatización y ahorro energético

Fuente: Autores

7.2.5.2. Luces con la herramienta computacional

Para habilitar el cálculo de pérdidas por parte de las luces, antes debió suministrarse la información necesaria para el cálculo de pérdidas por parte de las personas. Los datos de entradas son la cantidad de horas que se mantendrán encendidas las luces y la opción si utilizara luces fluorescentes.

Figura 104. Pérdida de la carga por luces con la herramienta Computacional

The screenshot shows a software window titled 'LUCES'. Inside, there is a section titled 'CALOR APORTADO POR LA ILUMINACION'. It contains three input fields: 'Niveles de iluminacion [W/m^2]' with the value '12', 'Area de la Camara [m^2]' with the value '16', and 'Tiempo de permanencia [h/dia]' with the value '8'. Below these is a radio button labeled 'Fluorescentes' which is selected. At the bottom left, there is a label 'CALOR DEBIDO A LUCES [kJ/dia]' and a text box containing the value '5529.6', which is highlighted with a yellow border. To the right of this text box are two buttons: 'CALCULAR' and 'SIGUIENTE'.

Variable	Valor
Niveles de iluminacion [W/m ²]	12
Area de la Camara [m ²]	16
Tiempo de permanencia [h/dia]	8
CALOR DEBIDO A LUCES [kJ/dia]	5529.6

Fuente: Autores

7.3. SELECCIÓN DE EQUIPOS

7.3.1. Selección de equipos con WINREF

Para la selección de equipo con WINREF, como primer paso se debe introducir el número de horas de funcionamiento del equipo y dar la opción (por si se desea) de un factor de seguridad.

Figura 105. Selección de Equipo WINREF

CARGA FRIGORÍFICA [kJ/día]	
ENFRIAR MERCANCIA [Qu]	3031427
COMPENSAR PÉRDIDAS [Qp]	140538
<input checked="" type="checkbox"/> Factor de seguridad (10%):	+ 317196
<hr/>	
PRODUCCIÓN FRIGORÍFICA BRUTA [Qt]	3489161
Tiempo [h/día] de funcionamiento del equipo [t]:	/ 18
<hr/>	
PRODUCCIÓN FRIGORÍFICA [kJ/h] =	193842
PRODUCCIÓN FRIGORÍFICA [frig/h] =	46298

Fuente: Autores

Después se selecciona alguna de las dos opciones de compresor.

Figura 107. Selección evaporadores WINREF

Carga frigorífica | Fluidos refrigerantes | Compresores | **Evaporadores** | Equipo seleccionado

EVAPORADORES

Temperatura [°C] de evaporación (Tev):
Temperatura [°C] en la cámara (Tf):
Producción frigorífica [frig/h] requerida (Qh):

Evaporadores disponibles:	
Modelo	Capacidad [frig/h]
<input checked="" type="radio"/> <input type="text" value="Ci1-5250"/>	<input type="text" value="29250"/>
<input type="radio"/> <input type="text" value="Ci1-6020"/>	<input type="text" value="33850"/>

Eléctrico
 Gas caliente
 Aire
 Agua

Deberán disponerse 2 evaporadores
Capacidad total [frig/h]: 58500

Unidad seleccionada:

Fuente: Autores

Al final se muestran las referencias de los equipos seleccionados.

Figura 108. Equipos Seleccionados

CÁLCULO DE CARGAS FRIGORÍFICAS

Enfriamiento de la mercancía (Q_u) | Compensación de pérdidas (Q_p) | **Elementos del equipo**

Carga frigorífica | Fluidos refrigerantes | Compresores | Evaporadores | **Equipo seleccionado**

ELEMENTOS DEL EQUIPO

Temperatura [°C] en la cámara (T_f):

Humedad relativa [%]:

Producción frigorífica [frig/h] requerida (Q_h):

EQUIPO SELECCIONADO

	Modelo	Potencia [frig/h]
REFRIGERANTE:	<input type="text" value="R-502"/>	
COMPRESORES: <input type="text" value="6"/>	<input type="text" value="154PELF"/>	<input type="text" value="53400"/>
EVAPORADORES: <input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="Ci1-5250"/>	<input type="text" value="58500"/>

Monografías de climatización y ahorro energético

Fuente: Autores

7.3.2. Selección de equipo con la herramienta computacional

La pestaña de selección de equipo no se habilitara sino hasta que se haya terminado de realizar todos los pasos necesarios para el cálculo de carga del producto y por pérdidas. Completo los anteriores requisitos sigue la parte de selección de equipos, seleccionado si se desea realizar un factor de seguridad y segundo el tiempo de funcionamiento de los equipos.

Figura 109. Selección de equipos con la herramienta Computacional

CARGAS FRIGORIFICA	
CARGA POR ENFRIAMIENTO	2.93594e+006
CARGA POR PERDIDAS	229865
<input checked="" type="radio"/> FACTOR DE SEGURIDAD 10%	316580
CARGA TOTAL [kJ/dia]	3.48238e+006
TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO [h/dia]	18
CARGA TOTAL [kJ/h]	193466
CARGA TOTAL [BTU/h]	183370

Fuente: Autores

Después de ingresar los datos anteriores, se selecciona la unidad condensadora con el catalogo ofrecido por la empresa BOHN.

Figura 110. Selección del condensador con la herramienta Computacional

UNIDADES CONDENSADORAS

ENFRIADAS POR AIRE, SEMI...

BDT/BDN DE 3-22HP
BST/BSN
BLV/BBV de 12 a 40 HP
JBD/JLD uso exterior (24-80 t

REFRIGERANTE

SELECCION DEL REFRIGERANTE

MODELO BAJA TEMP. R-404/R-507
MODELOS BAJA TEMP. R-22

MODELO B*V2700L6

BTUH 93600

NUMERO DE UNIDADES 2

SELECCIONAR

Fuente: Autores

Después de seleccionado la unidad condensadora, se selecciona el evaporador, escogiendo el número de aletas por pulgada y el tipo de desescarche que utilizara el sistema.

Figura 111. Selección del evaporador con la herramienta Computacional

EVAPORADORES

DESHELO POR GAS CALIENTE ▼

MODELO HGT
MODELO BMG/BMF
MODELO WKG
MODELO BHF/BHF

ALETAS

ALETAS POR PULGADAS 6
4

MODELO	BHF 1860
BTUH	186000
NUMERO DE EVAPORADORES	1

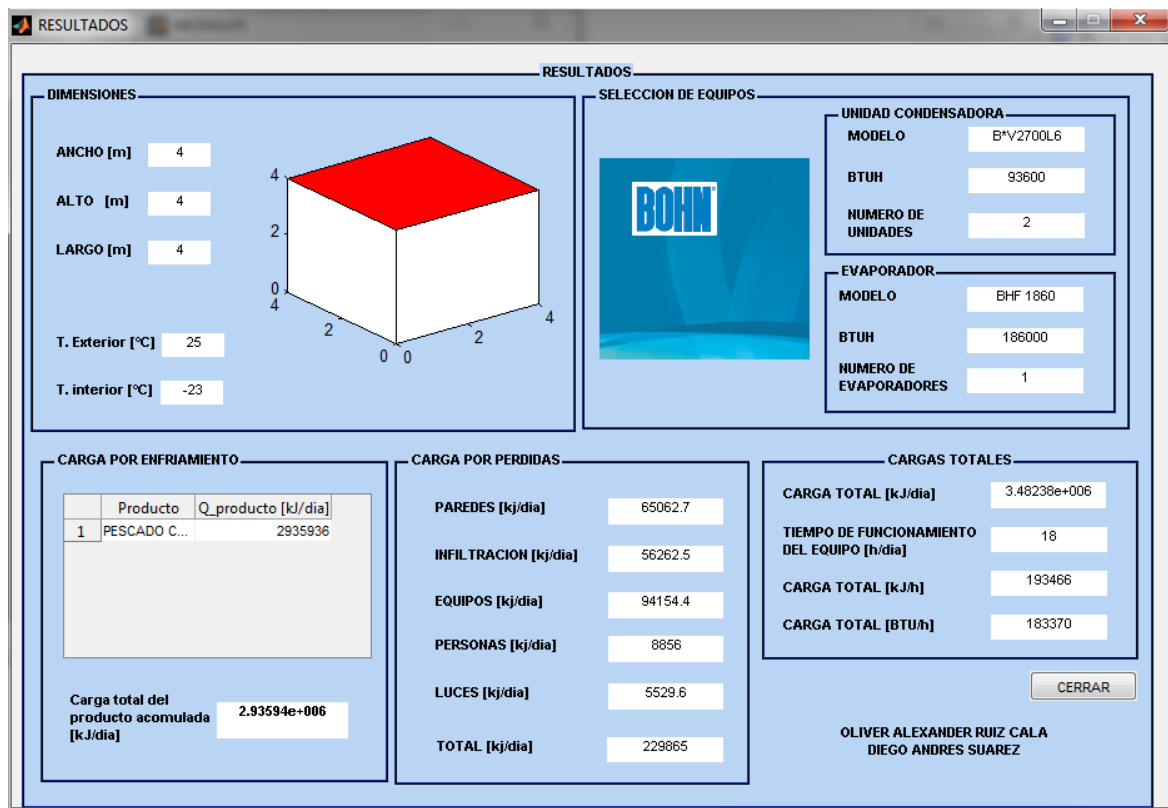
SELECCIONAR

CONTINUAR

Fuente: Autores

Al finalizar todos los anteriores pasos, la herramienta computacional mostrara un informe.

Figura 112. Informe de la herramienta Computacional



Fuente: Autores

7.4. RESULTADOS

Después de haber introducido los datos del caso tipo, se obtiene los siguientes resultados.

Tabla 27. Comparación entre la herramienta Computacional y WINREF

PROGRAMA	WINREF	H. COMPUTACIONAL
Producto [kJ / día]	3031427	2935936
Paredes [kJ /día]	62742	65063
Infiltración [kJ /día]	50248	56262.5
Equipos [kJ / día]	14256	94154
Personas [kJ / día]	8813	8856
Luces [kJ / día]	4479	5530
Factor de seguridad [10%]	317196	316580
Carga Total [kJ/h]	193842	193466
Carga Total [Btu/h]	183727	183370

Fuente: Autores

Tabla 28. Selección del equipo por WINREF

WREF	#	Modelo	Pot. requerida [Btu/h]	Potencia [Btu/h]
Unidad condensadora	6	154PELF	183727	213600
Evaporador	2	CI1-5250	183727	234000

Fuente: Autores

Tabla 29. Selección del equipo por la herramienta computacional

H.COMPUTACIONAL	#	Modelo	Pot. requerida [Btu/h]	Potencia [Btu/h]
Unidad condensadora	2	BLV2700L6	183370	187200
Evaporador	1	BHF 1860	183370	186000

Fuente: Autores

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se diseñó y elaboró una multimedia donde se abordan temas referente a los equipos que intervienen en el ciclo de refrigeración en los cuartos frigoríficos y se estudió un cuarto frigorífico tipo industrial, logrando así cubrir el objetivo de crear una animación donde se explicara el funcionamiento de una cámara frigorífica.
- Se pudo crear una base de datos con la mayoría de productos ofrecidos en el mercado y requieren conservación o congelamiento junto con sus características y propiedades térmicas
- Se montó dentro de la herramienta computacional una base de datos con diferentes evaporadores y unidades condensadores del fabricante BOHN, para la selección de equipo de la cámara frigorífica.
- Los algoritmos lógicos son importantes a la hora de realizar una herramienta computacional para el análisis de carga térmica necesaria para seleccionar el cuarto frío.
- La definición de interfaces es importante para la realización de un programa pues en el proyecto permitió apreciar planos geométricos de la cámara frigorífica al ejecutar la herramienta computacional.
- La herramienta computacional es práctica y recomendable teniendo en cuenta que se desarrollaron pruebas de funcionalidad y se presentaron resultados óptimos y fiables.
- Se realizó la comparación con un software de refrigeración que se encuentra en la industria WINREF, lográndose resultados satisfactorio con él un porcentaje de error 0.2 % con respecto al cálculo de carga total del producto seleccionado bajo las misma condiciones de diseño.
- Al comparar el programa con WINREF se logra apreciar que la Herramienta Computacional del proyecto tiene mayor funcionalidad en la industria debido a que WINREF solo realiza el cálculo de un solo producto, además restringe al

usuario de seleccionar el tiempo de enfriamiento dándole por defecto 24 horas, viendo esto como gran desventaja de diseño, al contrario la herramienta computacional si cumple con el cálculo de varios productos y dándole la ventaja al usuario de seleccionar el tiempo al que desee enfriar el producto.

- En la parte de selección de los equipos del programa computacional se permite visualizar que existe una amplia lista de unidades condensadoras y evaporadores del fabricante BOHN dándole así una selección optima al usuario, caso contrario con WINREF pues su catálogo es limitado y sin especificaciones del fabricante por lo cual esto ocasiona un sobredimensión a seleccionar los equipos.
- Se recomienda estudiar previamente el capítulo 4.4 HERAMIENTA COMPUTACIONAL antes de ejecutar cualquier módulo del software.

BIBLIOGRAFIA

- A. Vinicio. *Curso de Refrigeración* [en línea]. Slideshare, 2013 [fecha de consulta: 13 de Mayo del 2013]. Disponible en <http://www.slideshare.net/VinicioAcuna/curso-de-refrigeracion>
- *Controles Automáticos para Sistemas de Refrigeración Industriales*. México, Danfoss, RA Marketing/MWA. 2007
- Colaboradores de Gunt Hamburg. *Principios de la Generación en frío* [en línea]. Gunt Hamburg, 2010.
- *Información multimedia Colfrigas*. Frigoríficos Colombianos S.A. Bogotá D.C., Colombia. 2001.
- *Manual de Ingeniería*. BOHN, Grupo Frigus Therme, 2005.
- *Manual de máquinas para fluidos 1*. Instituto de Mecánica de los Fluidos De Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, 2010
- PILLIGUA CHILÁN, Leonel Iván. “Diseño de un Software para calcular cámaras frigoríficas”. Director: Francisco Andrade. Tesis Pregrado. Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2006.

- Puerto, Efraín. *Guía técnica para el Diseño de Cuartos Fríos*. Colombia. Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, Facultad de Ingeniería Mecánica. PDF.
- P.J. Rapin y P. Jacquard . *Instalaciones Frigoríficas*. España, MARCOMBO S.A., 1997.
- R.W. Greene . *Válvulas Selección, uso y mantenimiento*. México, McGRAW-HILL, 2010
- W. F. Stoecker, *Industrial Refrigeration Handbook*. McGRAW-HILL Professional 1998.
- Yunus A. Cengel & Michael A. Boles “Termodinámica” Sexta edición 2008

ANEXOS

Anexo A. Datos de composición, punto de congelación inicial, y los calores específicos de los alimentos

Table 3 Unfrozen Composition Data, Initial Freezing Point, and Specific Heats of Foods*

Food Item	Moisture Content, %	Protein, %	Fat, %	Carbohydrate		Ash, %	Initial Freezing Point, °C	Specific Heat Above Freezing, kJ/(kg·K)	Specific Heat Below Freezing, kJ/(kg·K)	Latent Heat of Fusion, kJ/kg
	x_{w0}	x_p		Total, %	Fiber, %					
Vegetables										
Artichokes, globe	84.94	3.27	0.15	10.51	5.40	1.13	-1.2	3.90	2.02	284
Jerusalem	78.01	2.00	0.01	17.44	1.60	2.54	-2.5	3.63	2.25	261
Asparagus	92.40	2.28	0.20	4.54	2.10	0.57	-0.6	4.03	1.79	309
Beans, snap	90.27	1.82	0.12	7.14	3.40	0.66	-0.7	3.99	1.85	302
lima	70.24	6.84	0.86	20.16	4.90	1.89	-0.6	3.52	2.07	235
Beets	87.58	1.61	0.17	9.56	2.80	1.08	-1.1	3.91	1.94	293
Broccoli	90.69	2.98	0.35	5.24	3.00	0.92	-0.6	4.01	1.82	303
Brussels sprouts	86.00	3.38	0.30	8.96	3.80	1.37	-0.8	3.90	1.91	287
Cabbage	92.15	1.44	0.27	5.43	2.30	0.71	-0.9	4.02	1.85	308
Carrots	87.79	1.03	0.19	10.14	3.00	0.87	-1.4	3.92	2.00	293
Cauliflower	91.91	1.98	0.21	5.20	2.50	0.71	-0.8	4.02	1.84	307
Celeriac	88.00	1.50	0.30	9.20	1.80	1.00	-0.9	3.90	1.89	294
Celery	94.64	0.75	0.14	3.65	1.70	0.82	-0.5	4.07	1.74	316
Collards	90.55	1.57	0.22	7.11	3.60	0.55	-0.8	4.01	1.86	302
Corn, sweet, yellow	75.96	3.22	1.18	19.02	2.70	0.62	-0.6	3.62	1.98	254
Cucumbers	96.01	0.69	0.13	2.76	0.80	0.41	-0.5	4.09	1.71	321
Eggplant	92.03	1.02	0.18	6.07	2.50	0.71	-0.8	4.02	1.83	307
Endive	93.79	1.25	0.20	3.35	3.10	1.41	-0.1	4.07	1.69	313
Garlic	58.58	6.36	0.50	33.07	2.10	1.50	-0.8	3.17	2.19	196
Ginger, root	81.67	1.74	0.73	15.09	2.00	0.77	—	3.75	1.94	273
Horseradish	78.66	9.40	1.40	8.28	2.00	2.26	-1.8	3.70	2.12	263
Kale	84.46	3.30	0.70	10.01	2.00	1.53	-0.5	3.82	1.86	282
Kohlrabi	91.00	1.70	0.10	6.20	3.60	1.00	-1.0	4.02	1.90	304
Leeks	83.00	1.50	0.30	14.15	1.80	1.05	-0.7	3.77	1.91	277
Lettuces, iceberg	95.89	1.01	0.19	2.09	1.40	0.48	-0.2	4.09	1.65	320
Mushrooms	91.81	2.09	0.42	4.65	1.20	0.89	-0.9	3.99	1.84	307
Okra	89.58	2.00	0.10	7.63	3.20	0.70	-1.8	3.97	2.05	299
Onions	89.68	1.16	0.16	8.63	1.80	0.37	-0.9	3.95	1.87	300
dehydrated flakes	3.93	8.95	0.46	83.28	9.20	3.38	—	—	—	13
Parsley	87.71	2.97	0.79	6.33	3.30	2.20	-1.1	3.93	1.94	293
Parsnips	79.53	1.20	0.30	17.99	4.90	0.98	-0.9	3.74	2.02	266
Peas, green	78.86	5.42	0.40	14.46	5.10	0.87	-0.6	3.75	1.98	263
Peppers, freeze-dried	2.00	17.90	3.00	68.70	21.30	8.40	—	—	—	7
sweet, green	92.19	0.89	0.19	6.43	1.80	0.30	-0.7	4.01	1.80	308
Potatoes, main crop	78.96	2.07	0.10	17.98	1.60	0.89	-0.6	3.67	1.93	264
sweet	72.84	1.65	0.30	24.28	3.00	0.95	-1.3	3.48	2.09	243
Pumpkins	91.60	1.00	0.10	6.50	0.50	0.80	-0.8	3.97	1.81	306
Radishes	94.84	0.60	0.54	3.59	1.60	0.54	-0.7	4.08	1.77	317
Rhubarb	93.61	0.90	0.20	4.54	1.80	0.76	-0.9	4.05	1.83	313
Rutabaga	89.66	1.20	0.20	8.13	2.50	0.81	-1.1	3.96	1.92	299
Salsify (vegetable oyster)	77.00	3.30	0.20	18.60	3.30	0.90	-1.1	3.65	2.05	257
Spinach	91.58	2.86	0.35	3.50	2.70	1.72	-0.3	4.02	1.75	306
Squash, summer	94.20	0.94	0.24	4.04	1.90	0.58	-0.5	4.07	1.74	315
winter	87.78	0.80	0.10	10.42	1.50	0.90	-0.8	3.89	1.87	293
Tomatoes, mature green	93.00	1.20	0.20	5.10	1.10	0.50	-0.6	4.02	1.77	311
ripe	93.76	0.85	0.33	4.64	1.10	0.42	-0.5	4.08	1.79	313
Turnip	91.87	0.90	0.10	6.23	1.80	0.70	-1.1	4.00	1.88	307
greens	91.07	1.50	0.30	5.73	3.20	1.40	-0.2	4.01	1.74	304
Watercress	95.11	2.30	0.10	1.29	1.50	1.20	-0.3	4.08	1.69	318
Yams	69.60	1.53	0.17	27.89	4.10	0.82	—	3.47	2.06	232
Fruits										
Apples, fresh	83.93	0.19	0.36	15.25	2.70	0.26	-1.1	3.81	1.98	280
dried	31.76	0.93	0.32	65.89	8.70	1.10	—	2.57	2.84	106
Apricots	86.35	1.40	0.39	11.12	2.40	0.75	-1.1	3.87	1.95	288
Avocados	74.27	1.98	15.32	7.39	5.00	1.04	-0.3	3.67	1.98	248
Bananas	74.26	1.03	0.48	23.43	2.40	0.80	-0.8	3.56	2.03	248
Blackberries	85.64	0.72	0.39	12.76	5.30	0.48	-0.8	3.91	1.94	286
Blueberries	84.61	0.67	0.38	14.13	2.70	0.21	-1.6	3.83	2.06	283
Cantaloupes	89.78	0.88	0.28	8.36	0.80	0.71	-1.2	3.93	1.91	300
Cherries, sour	86.13	1.00	0.30	12.18	1.60	0.40	-1.7	3.85	2.05	288
sweet	80.76	1.20	0.96	16.55	2.30	0.53	-1.8	3.73	2.12	270
Cranberries	86.54	0.39	0.20	12.68	4.20	0.19	-0.9	3.91	1.93	289

Table 3 Unfrozen Composition Data, Initial Freezing Point, and Specific Heats of Foods* (Continued)

Food Item	Moisture Content, %		Protein, %	Fat, %	Carbohydrate		Ash, %	Initial Freezing Point, °C	Specific Heat Above Freezing, kJ/(kg·K)	Specific Heat Below Freezing, kJ/(kg·K)	Latent Heat of Fusion, kJ/kg
	x_{wo}	x_p			x_f	Total, %					
Currants, European black	81.96	1.40	0.41	15.38	0.00	0.86	-1.0	3.71	1.95	274	
red and white	83.95	1.40	0.20	13.80	4.30	0.66	-1.0	3.85	1.98	280	
Dates, cured	22.50	1.97	0.45	73.51	7.50	1.58	-15.7	2.31	2.30	75	
Figs, fresh	79.11	0.75	0.30	19.18	3.30	0.66	-2.4	3.70	2.25	264	
dried	28.43	3.05	1.17	65.35	9.30	2.01	—	2.51	4.13	95	
Gooseberries	87.87	0.88	0.58	10.18	4.30	0.49	-1.1	3.95	1.96	293	
Grapefruit	90.89	0.63	0.10	8.08	1.10	0.31	-1.1	3.96	1.89	304	
Grapes, American	81.30	0.63	0.35	17.15	1.00	0.57	-1.6	3.71	2.07	272	
European type	80.56	0.66	0.58	17.77	1.00	0.44	-2.1	3.70	2.16	269	
Lemons	87.40	1.20	0.30	10.70	4.70	0.40	-1.4	3.94	2.02	292	
Limes	88.26	0.70	0.20	10.54	2.80	0.30	-1.6	3.93	2.03	295	
Mangos	81.71	0.51	0.27	17.00	1.80	0.50	-0.9	3.74	1.95	273	
Melons, caba	92.00	0.90	0.10	6.20	0.80	0.80	-1.1	3.99	1.87	307	
honeydew	89.66	0.46	0.10	9.18	0.60	0.60	-0.9	3.92	1.86	299	
watermelon	91.51	0.62	0.43	7.18	0.50	0.26	-0.4	3.97	1.74	306	
Nectarines	86.28	0.94	0.46	11.78	1.60	0.54	-0.9	3.86	1.90	288	
Olives	79.99	0.84	10.68	6.26	3.20	2.23	-1.4	3.76	2.07	267	
Oranges	82.30	1.30	0.30	15.50	4.50	0.60	-0.8	3.81	1.96	275	
Peaches, fresh	87.66	0.70	0.90	11.10	2.00	0.46	-0.9	3.91	1.90	293	
dried	31.80	3.61	0.76	61.33	8.20	2.50	—	2.57	3.49	106	
Pears	83.81	0.39	0.40	15.11	2.40	0.28	-1.6	3.80	2.06	280	
Persimmons	64.40	0.80	0.40	33.50	0.00	0.90	-2.2	3.26	2.29	215	
Pineapples	86.50	0.39	0.43	12.39	1.20	0.29	-1.0	3.85	1.91	289	
Plums	85.20	0.79	0.62	13.01	1.50	0.39	-0.8	3.83	1.90	285	
Pomegranates	80.97	0.95	0.30	17.17	0.60	0.61	-3.0	3.70	2.30	270	
Prunes, dried	32.39	2.61	0.52	62.73	7.10	1.76	—	2.56	3.50	108	
Quinces	83.80	0.40	0.10	15.30	1.90	0.40	-2.0	3.79	2.13	280	
Raisins, seedless	15.42	3.22	0.46	79.13	4.00	1.77	—	2.07	2.04	52	
Raspberries	86.57	0.91	0.55	11.57	6.80	0.40	-0.6	3.96	1.91	289	
Strawberries	91.57	0.61	0.37	7.02	2.30	0.43	-0.8	4.00	1.84	306	
Tangerines	87.60	0.63	0.19	11.19	2.30	0.39	-1.1	3.90	1.93	293	
Whole Fish											
Cod	81.22	17.81	0.67	0.0	0.0	1.16	-2.2	3.78	2.14	271	
Had dock	79.92	18.91	0.72	0.0	0.0	1.21	-2.2	3.75	2.14	267	
Halibut	77.92	20.81	2.29	0.0	0.0	1.36	-2.2	3.74	2.18	260	
Herring, kippered	59.70	24.58	12.37	0.0	0.0	1.94	-2.2	3.26	2.27	199	
Mackerel, Atlantic	63.55	18.60	13.89	0.0	0.0	1.35	-2.2	3.33	2.23	212	
Perch	78.70	18.62	1.63	0.0	0.0	1.20	-2.2	3.71	2.15	263	
Pollock, Atlantic	78.18	19.44	0.98	0.0	0.0	1.41	-2.2	3.70	2.15	261	
Salmon, pink	76.35	19.94	3.45	0.0	0.0	1.22	-2.2	3.68	2.17	255	
Tuna, bluefin	68.09	23.33	4.90	0.0	0.0	1.18	-2.2	3.43	2.19	227	
Whiting	80.27	18.31	1.31	0.0	0.0	1.30	-2.2	3.77	2.15	268	
Shellfish											
Clams	81.82	12.77	0.97	2.57	0.0	1.87	-2.2	3.76	2.13	273	
Lobster, American	76.76	18.80	0.90	0.50	0.0	2.20	-2.2	3.64	2.15	256	
Oysters	85.16	7.05	2.46	3.91	0.0	1.42	-2.2	3.83	2.12	284	
Scallop, meat	78.57	16.78	0.76	2.36	0.0	1.53	-2.2	3.71	2.15	262	
Shrimp	75.86	20.31	1.73	0.91	0.0	1.20	-2.2	3.65	2.16	253	
Beef											
Brisket	55.18	16.94	26.54	0.0	0.0	0.80	—	3.19	2.33	184	
Carcass, choice	57.26	17.32	24.05	0.0	0.0	0.81	-2.2	3.24	2.31	191	
select	58.21	17.48	22.55	0.0	0.0	0.82	-1.7	3.25	2.24	194	
Liver	68.99	20.00	3.85	5.82	0.0	1.34	-1.7	3.47	2.16	230	
Ribs, whole (ribs 6-12)	54.54	16.37	26.98	0.0	0.0	0.77	—	3.16	2.32	182	
Round, full cut, lean and fat	64.75	20.37	12.81	0.0	0.0	0.97	—	3.39	2.18	216	
full cut, lean	70.83	22.03	4.89	0.0	0.0	1.07	—	3.52	2.12	237	
Sirloin, lean	71.70	21.24	4.40	0.0	0.0	1.08	-1.7	3.53	2.11	239	
Short loin, porterhouse steak, lean	69.59	20.27	8.17	0.0	0.0	1.01	—	3.49	2.14	232	
T-bone steak, lean	69.71	20.78	7.27	0.0	0.0	1.27	—	3.49	2.14	233	
Tenderloin, lean	68.40	20.78	7.90	0.0	0.0	1.04	—	3.45	2.14	228	
Veal, lean	75.91	20.20	2.87	0.0	0.0	1.08	—	3.65	2.09	254	

Table 3 Unfrozen Composition Data, Initial Freezing Point, and Specific Heats of Foods* (Continued)

Food Item	Moisture	Protein,	Carbohydrate			Ash, %	Initial Freezing Point, °C	Specific Heat Above Freezing, kJ/(kg·K)	Specific Heat Below Freezing, kJ/(kg·K)	Latent Heat of Fusion, kJ/kg
	Content, %	%	Fat, %	Total, %	Fiber, %					
	x_{w0}	x_p	x_f	x_c	x_D	x_a				
Pork										
Backfat	7.69	2.92	88.69	0.0	0.0	0.70	—	2.17	2.98	26
Bacon	31.58	8.66	57.54	0.09	0.0	2.13	—	2.70	2.70	105
Belly	36.74	9.34	53.01	0.0	0.0	0.49	—	2.80	3.37	123
Carcass	49.83	13.91	35.07	0.0	0.0	0.72	—	3.08	3.10	166
Ham, cured, whole, lean	68.26	22.32	5.71	0.05	0.0	3.66	—	3.47	2.22	228
country cured, lean	55.93	27.80	8.32	0.30	0.0	7.65	—	3.16	2.31	187
Shoulder, whole, lean	72.63	19.55	7.14	0.0	0.0	1.02	-2.2	3.59	2.20	243
Sausage										
Braunschweiger	48.01	13.50	32.09	3.13	0.0	3.27	—	3.01	2.40	160
Frankfurter	53.87	11.28	29.15	2.55	0.0	3.15	-1.7	3.15	2.31	180
Italian	51.08	14.25	31.33	0.65	0.0	2.70	—	3.10	2.37	171
Polish	53.15	14.10	28.72	1.63	0.0	2.40	—	3.14	2.36	178
Pork	44.52	11.69	40.29	1.02	0.0	2.49	—	2.95	2.43	149
Smoked links	39.30	22.20	31.70	2.10	0.0	4.70	—	2.82	2.45	131
Poultry Products										
Chicken	65.99	18.60	15.06	0.0	0.0	0.79	-2.8	4.34	3.32	220
Duck	48.50	11.49	39.34	0.0	0.0	0.68	—	3.06	2.45	162
Turkey	70.40	20.42	8.02	0.0	0.0	0.88	—	3.53	2.28	235
Egg										
White	87.81	10.52	0.0	1.03	0.0	0.64	-0.6	3.91	1.81	293
dried	14.62	76.92	0.04	4.17	0.0	4.25	—	2.29	2.10	49
Whole	75.33	12.49	10.02	1.22	0.0	0.94	-0.6	3.63	1.95	252
dried	3.10	47.35	40.95	4.95	0.0	3.65	—	2.04	2.00	10
Yolk	48.81	16.76	30.87	1.78	0.0	1.77	-0.6	3.05	2.25	163
salted	50.80	14.00	23.00	1.60	0.0	10.60	-17.2	3.01	3.79	170
sugared	51.25	13.80	22.75	10.80	0.0	1.40	-3.9	3.07	2.54	171
Lamb										
Composite of cuts, lean	73.42	20.29	5.25	0.0	0.0	1.06	-1.9	3.60	2.14	245
Leg, whole, lean	74.11	20.56	4.51	0.0	0.0	1.07	—	3.62	2.14	248
Dairy Products										
Butter	17.94	0.85	81.11	0.06	0.0	0.04	—	2.40	2.65	60
Cheese										
Camembert	51.80	19.80	24.26	0.46	0.0	3.68	—	3.10	3.34	173
Cheddar	36.75	24.90	33.14	1.28	0.0	3.93	-12.9	2.77	3.07	123
Cottage, uncreamed	79.77	17.27	0.42	1.85	0.0	0.69	-1.2	3.73	1.99	266
Cream	53.75	7.55	34.87	2.66	0.0	1.17	—	3.16	2.91	180
Gouda	41.46	24.94	27.44	2.22	0.0	3.94	—	2.87	2.77	138
Limburger	48.42	20.05	27.25	0.49	0.0	3.79	-7.4	3.03	2.82	162
Mozzarella	54.14	19.42	21.60	2.22	0.0	2.62	—	3.15	2.46	181
Parmesan, hard	29.16	35.75	25.83	3.22	0.0	6.04	—	2.58	2.94	97
Processed American	39.16	22.15	31.25	1.30	0.0	5.84	-6.9	2.80	2.75	131
Roquefort	39.38	21.54	30.64	2.00	0.0	6.44	-16.3	2.80	3.36	132
Swiss	37.21	28.43	27.45	3.38	0.0	3.53	-10.0	2.78	2.88	124
Cream										
Half and half	80.57	2.96	11.50	4.30	0.0	0.67	—	3.73	2.16	269
Table	73.75	2.70	19.31	3.66	0.0	0.58	-2.2	3.59	2.21	246
Heavy whipping	57.71	2.05	37.00	2.79	0.0	0.45	—	3.25	2.32	193
Ice Cream										
Chocolate	55.70	3.80	11.0	28.20	1.20	1.00	-5.6	3.11	2.75	186
Strawberry	60.00	3.20	8.40	27.60	0.30	0.70	-5.6	3.19	2.74	200
Vanilla	61.00	3.50	11.00	23.60	0.0	0.90	-5.6	3.22	2.74	204
Milk										
Canned, condensed, sweetened	27.16	7.91	8.70	54.40	0.0	1.83	-15.0	2.35	—	91
Evaporated	74.04	6.81	7.56	10.04	0.0	1.55	-1.4	3.56	2.08	247
Skim	90.80	3.41	0.18	4.85	0.0	0.76	—	3.95	1.78	303
Skim, dried	3.16	36.16	0.77	51.98	0.0	7.93	—	1.80	—	11
Whole	87.69	3.28	3.66	4.65	0.0	0.72	-0.6	3.89	1.81	293
dried	2.47	26.32	26.71	38.42	0.0	6.08	—	1.85	—	8
Whey, acid, dried	3.51	11.73	0.54	73.45	0.0	10.77	—	1.68	—	12
sweet, dried	3.19	12.93	1.07	74.46	0.0	8.35	—	1.69	—	11

Table 3 Unfrozen Composition Data, Initial Freezing Point, and Specific Heats of Foods* (Continued)

Food Item	Moisture Content, Protein,		Fat, %	Carbohydrate			Initial Freezing Point, °C	Specific Heat Above Freezing, kJ/(kg·K)	Specific Heat Below Freezing, kJ/(kg·K)	Latent Heat of Fusion, kJ/kg
	%	%		Total, %	Fiber, %	Ash, %				
	x_{wo}	x_p	x_f	x_c	x_{fb}	x_a				
Nuts, Shelled										
Almonds	4.42	19.95	52.21	20.40	10.90	3.03	—	2.20	—	15
Filberts	5.42	13.04	62.64	15.30	6.10	3.61	—	2.09	—	18
Peanuts, raw	6.5	25.80	49.24	16.14	8.50	2.33	—	2.23	—	22
dry roasted with salt	1.55	23.68	49.66	21.51	8.00	3.60	—	2.08	—	5
Pecans	4.82	7.75	67.64	18.24	7.60	1.56	—	2.17	—	16
Walnuts, English	3.65	14.29	61.87	18.34	4.80	1.86	—	2.09	—	12
Candy										
Fudge, vanilla	10.90	1.10	5.40	82.30	0.0	0.40	—	1.90	—	36
Marshmallows	16.40	1.80	0.20	81.30	0.10	0.30	—	2.02	—	55
Milk chocolate	1.30	6.90	30.70	59.20	3.40	1.50	—	1.83	—	4
Peanut brittle	1.80	7.50	19.10	69.30	2.00	1.50	—	1.77	—	6
Juice and Beverages										
Apple juice, unsweetened	87.93	0.06	0.11	11.68	0.10	0.22	—	3.87	1.78	294
Grapefruit juice, sweetened	87.38	0.58	0.09	11.13	0.10	0.82	—	3.85	1.78	292
Grape juice, unsweetened	84.12	0.56	0.08	14.96	0.10	0.29	—	3.77	1.82	281
Lemon juice	92.46	0.40	0.29	6.48	0.40	0.36	—	3.99	1.73	309
Lime juice, unsweetened	92.52	0.25	0.23	6.69	0.40	0.31	—	3.99	1.73	309
Orange juice	89.01	0.59	0.14	9.85	0.20	0.41	-0.4	3.90	1.76	297
Pineapple juice, unsweetened	85.53	0.32	0.08	13.78	0.20	0.30	—	3.81	1.81	286
Prune juice	81.24	0.61	0.03	17.45	1.00	0.68	—	3.71	1.87	271
Tomato juice	93.90	0.76	0.06	4.23	0.40	1.05	—	4.03	1.71	314
Cranberry-apple juice drink	82.80	0.10	0.0	17.10	0.10	0.0	—	3.73	1.84	277
Cranberry-grape juice drink	85.60	0.20	0.10	14.00	0.10	0.10	—	3.81	1.80	286
Fruit punch drink	88.00	0.0	0.0	11.90	0.10	0.10	—	3.87	1.78	294
Club soda	99.90	0.0	0.0	0.0	0.0	0.10	—	4.17	1.63	334
Cola	89.40	0.0	0.0	10.40	0.0	0.10	—	3.90	1.76	299
Cream soda	86.70	0.0	0.0	13.30	0.0	0.10	—	3.83	1.79	290
Ginger ale	91.20	0.0	0.0	8.70	0.0	0.0	—	3.95	1.73	305
Grape soda	88.80	0.0	0.0	11.20	0.0	0.10	—	3.89	1.77	297
Lemon-lime soda	89.50	0.0	0.0	10.40	0.0	0.10	—	3.90	1.76	299
Orange soda	87.60	0.0	0.0	12.30	0.0	0.10	—	3.86	1.78	293
Root beer	89.30	0.0	0.0	10.60	0.0	0.10	—	3.90	1.76	298
Chocolate milk, 2% fat	83.58	3.21	2.00	10.40	0.50	0.81	—	3.78	1.83	279
Miscellaneous										
Honey	17.10	0.30	0.0	82.40	0.20	0.20	—	2.03	—	57
Maple syrup	32.00	0.00	0.20	67.20	0.0	0.60	—	2.41	—	107
Popcorn, air-popped	4.10	12.00	4.20	77.90	15.10	1.80	—	2.04	—	14
oil-popped	2.80	9.00	28.10	57.20	10.00	2.90	—	1.99	—	9
Yeast, baker's, compressed	69.00	8.40	1.90	18.10	8.10	1.80	—	3.55	2.17	230

*Composition data from USDA (1996). Initial freezing point data from Table 1 in Chapter 30 of the 1993 *ASHRAE Handbook—Fundamentals*. Specific heats calculated from equations in this chapter. Latent heat of fusion obtained by multiplying water content expressed in decimal form by 334 kJ/kg, the heat of fusion of water (Table 1 in Chapter 30 of the 1993 *ASHRAE Handbook—Fundamentals*).

Anexo B. El calor de respiración de frutas y hortalizas frescas a diferentes temperaturas

Table 9 Heat of Respiration for Fresh Fruits and Vegetables at Various Temperatures^a

Commodity	Heat of Respiration (mW/kg)						Reference
	0°C	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C	
Apples							
Yellow, transparent	20.4	35.9	—	106.2	166.8	—	Wright et al. (1954)
Delicious	10.2	15.0	—	—	—	—	Lutz and Hardenburg (1968)
Golden Delicious	10.7	16.0	—	—	—	—	Lutz and Hardenburg (1968)
Jonathan	11.6	17.5	—	—	—	—	Lutz and Hardenburg (1968)
McIntosh	10.7	16.0	—	—	—	—	Lutz and Hardenburg (1968)
Early cultivars	9.7-18.4	15.5-31.5	41.2-60.6	53.6-92.1	58.2-121.2	—	IIR (1967)
Late cultivars	5.3-10.7	13.6-20.9	20.4-31.0	27.6-58.2	43.6-72.7	—	IIR (1967)
Average of many cultivars	6.8-12.1	15.0-21.3	—	40.3-91.7	50.0-103.8	—	Lutz and Hardenburg (1968)
Apricots	15.5-17.0	18.9-26.7	33.0-55.8	63.0-101.8	87.3-155.2	—	Lutz and Hardenburg (1968)
Artichokes, globe	67.4-133.4	94.6-178.0	16.2-291.5	22.9-430.2	40.4-692.0	—	Rappaport and Wataha (1958), Sastry et al. (1978)
Asparagus	81.0-237.6	162.0-404.5	318.1-904.0	472.3-971.4	809.4-1484.0	—	Lipton (1957), Sastry et al. (1978)
Avocados	*b	*b	—	183.3-465.6	218.7-1029.1	—	Biale (1960), Lutz and Hardenburg (1968)
Bananas							
Green	*b	*b	+b	59.7-130.9	87.3-155.2	—	IIR (1967)
Ripening	*b	*b	+b	37.3-164.9	97.0-242.5	—	IIR (1967)
Beans							
Lima, unshelled	31.0-89.2	58.2-106.7	—	296.8-369.5	393.8-531.5	—	Lutz and Hardenburg (1968), Tewfik and Scott (1954)
shelled	52.4-103.8	86.3-180.9	—	—	627.0-801.1	—	Lutz and Hardenburg (1968), Tewfik and Scott (1954)
Snap	*b	101.4-103.8	162.0-172.6	252.2-276.4	350.6-386.0	—	Ryall and Lipton (1972), Wataha and Morris (1966)
Beets, red, roots	16.0-21.3	27.2-28.1	34.9-40.3	50.0-68.9	—	—	Ryall and Lipton (1972), Smith (1957)
Berries							
Blackberries	46.6-67.9	84.9-135.8	155.2-281.3	208.5-431.6	388.0-581.9	—	IIR (1967)
Blueberries	6.8-31.0	27.2-36.4	—	101.4-183.3	153.7-259.0	—	Lutz and Hardenburg (1968)
Cranberries	*b	12.1-13.6	—	—	32.5-53.8	—	Anderson et al. (1963), Lutz and Hardenburg (1968)
Gooseberries	20.4-25.7	36.4-40.3	—	64.5-95.5	—	—	Lutz and Hardenburg (1968), Smith (1966)
Raspberries	52.4-74.2	91.7-114.4	82.4-164.9	243.9-300.7	339.5-727.4	—	Haller et al. (1941), IIR (1967), Lutz and Hardenburg (1968)
Strawberries	36.4-52.4	48.5-98.4	145.5-281.3	210.5-273.5	303.1-581.0	501.4-625.6	IIR (1967), Lutz and Hardenburg (1968), Maxie et al. (1959)
Broccoli, sprouting	55.3-63.5	102.3-474.8	—	515.0-1008.2	824.9-1011.1	1155.2-1661.0	Morris (1947), Lutz and Hardenburg (1968), Scholz et al. (1963)
Brussels sprouts	45.6-71.3	95.5-144.0	187.2-250.7	283.2-316.7	267.2-564.0	—	Sastry et al. (1978), Smith (1957)
Cabbage							
Penn State ^c	11.6	28.1-30.1	—	66.4-94.1	—	—	Van den Berg and Lentz (1972)
White, winter	14.5-24.2	21.8-41.2	36.4-53.3	58.2-80.0	106.7-121.2	—	IIR (1967)
spring	28.1-40.3	52.4-63.5	86.3-98.4	159.1-167.7	—	—	Sastry et al. (1978), Smith (1957)
Red, early	22.8-29.1	46.1-50.9	70.3-824.2	109.1-126.1	164.9-169.7	—	IIR (1967)
Savoy	46.1-63.0	75.2-87.3	155.2-181.9	259.5-293.4	388.0-436.5	—	IIR (1967)
Carrots, roots							
Imperator, Texas	45.6	58.2	93.1	117.4	209.0	—	Scholz et al. (1963)
Main crop, United Kingdom	10.2-20.4	17.5-35.9	29.1-46.1	86.8-196.4 at 18°C	—	—	Smith (1957)
Nantes, Canada ^d	9.2	19.9	—	64.0-83.9	—	—	Van den Berg and Lentz (1972)
Cauliflower							
Texas	52.9	60.6	100.4	136.8	238.1	—	Scholz et al. (1963)
United Kingdom	22.8-71.3	58.2-81.0	121.2-144.5	199.8-243.0	—	—	Smith (1957)
Celery							
New York, white	21.3	32.5	—	110.6	191.6	—	Lutz and Hardenburg (1968)
United Kingdom	15.0-21.3	27.2-37.8	58.2-81.0	115.9-124.1 at 18°C	—	—	Smith (1957)
Utah, Canada ^e	15.0	26.7	—	88.3	—	—	Van den Berg and Lentz (1972)
Cherries							
Sour	17.5-39.3	37.8-39.3	—	81.0-148.4	115.9-148.4	157.6-210.5	Hawkins (1929), Lutz and Hardenburg (1968)

Table 9 Heat of Respiration for Fresh Fruits and Vegetables at Various Temperatures^a (Continued)

Commodity	Heat of Respiration (mW/kg)						Reference
	0°C	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C	
Sweet	12.1-16.0	28.1-41.7	—	74.2-133.4	83.4-94.6	—	Gerhardt et al. (1942), Lutz and Hardenburg (1968), Misco et al. (1965)
Com, sweet with husk, Texas	126.1	230.4	332.2	483.0	855.5	1207.5	Scholz et al. (1963)
Cucumbers, California	*b	*b	68.4-85.8 at 13°C	71.3-98.4	92.1-142.6	—	Eaks and Morris (1956)
Figs, Mission	—	23.5-39.3	65.5-68.4	145.5-187.7	168.8-281.8	252.2-281.8	Claypool and Ozbek (1952), Lutz and Hardenburg (1968)
Garlic	8.7-32.5	17.5-28.6	27.2-28.6	32.5-81.0	29.6-53.8	—	Mann and Lewis (1956), Sastry et al. (1978)
Grapes							
<i>Labrusca</i> , Concord	8.2	16.0	—	47.0	97.0	114.4	Lutz (1938), Lutz and Hardenburg (1968)
<i>Vinifera</i> , Emperor	3.9-6.8	9.2-17.5	2.42	29.6-34.9	—	74.2-89.2	Lutz and Hardenburg (1968), Pentzer et al. (1933)
Thompson seedless	5.8	14.1	22.8	—	—	—	Wright et al. (1954)
Ohanez	3.9	9.7	21.3	—	—	—	Wright et al. (1954)
Grapefruit							
California Marsh	*b	*b	*b	34.9	52.4	64.5	Haller et al. (1945)
Florida	*b	*b	*b	37.8	47.0	56.7	Haller et al. (1945)
Horse radish	24.2	32.0	78.1	97.0	132.4	—	Sastry et al. (1978)
Kiwifruit	8.3	19.6	38.9	—	51.9-57.3	—	Saravacos and Piskworth (1965)
Kohlrabi	29.6	48.5	93.1	145.5	—	—	Sastry et al. (1978)
Leeks	28.1-48.5	58.2-86.3	159.1-202.2	245.4-346.7	—	—	Sastry et al. (1978), Smith (1957)
Lemons, California, Eureka	*b	*b	*b	47.0	67.4	77.1	Haller et al. (1945)
Lettuce							
Head, California	27.2-50.0	39.8-59.2	81.0-118.8	114.4-121.2	178.0	—	Sastry et al. (1978)
Texas	31.0	39.3	64.5	106.7	168.8	2.4 at 27°C	Lutz and Hardenburg, (1968), Watt and Merrill (1963)
Leaf, Texas	68.4	86.8	116.9	186.7	297.8	434.5	Scholz et al. (1963)
Romaine, Texas	—	61.6	105.2	131.4	203.2	321.5	Scholz et al. (1963)
Limes, Persian	*b	*b	7.8-17.0	17.5-31.0	20.4-55.3	44.6-134.8	Lutz and Hardenburg (1968)
Mangoes	*b	*b	—	133.4	222.6-449.1	356.0	Gore (1911), Karmarkar and Joshe (1941b), Lutz and Hardenburg (1968)
Melons							
Cantaloupes	*b	25.7-29.6	46.1	99.9-114.4	132.4-191.6	184.8-211.9	Lutz and Hardenburg (1968), Sastry et al. (1978), Scholz et al. (1963)
Honeydew	—	*b	23.8	34.9-47.0	59.2-70.8	78.1-102.3	Lutz and Hardenburg (1968), Pratt and Morris (1958), Scholz et al. (1963)
Watermelon	*b	*b	22.3	—	51.4-74.2	—	Lutz and Hardenburg (1968), Scholz et al. (1963)
Min ^l	23.8-44.5	89.0	225.6-270.1	311.6-403.6	492.7-673.7	762.7-940.8	Hruschka and Want (1979)
Mushrooms	83.4-129.5	210.5	—	—	782.2-938.9	—	Lutz and Hardenburg (1968), Smith (1964)
Nuts (kind not specified)	2.4	4.8	9.7	9.7	14.5	—	IIR (1967)
Okra, Clemson	*b	—	259.0	432.6	774.5	1024 at 29°C	Scholz et al. (1963)
Olives, Manzanillo	*b	*b	—	64.5-115.9	114.4-145.5	121.2-180.9	Maxie et al. (1959)
Onions							
Dry, Autumn Spice ^f	6.8-9.2	10.7-19.9	—	14.7-28.1	—	—	Van den Berg and Lentz (1972)
White Bermuda	8.7	10.2	21.3	33.0	50.0	83.4 at 27°C	Scholz et al. (1963)
Green, New Jersey	31.0-65.9	51.4-202.2	107.2-174.6	195.9-288.6	231.6-460.8	290.0-622.2	Lutz and Hardenburg (1968)
Oranges							
Florida	9.2	18.9	36.4	62.1	89.2	105.2 at 27°C	Haller et al. (1945)
California, w. navel	*b	18.9	40.3	67.4	81.0	107.7	Haller et al. (1945)
Valencia	*b	13.6	34.9	37.8	52.4	62.1	Haller et al. (1945)
Papayas	*b	*b	33.5	44.6-64.5	—	115.9-291.0	Jones (1942), Pantastico (1974)

Table 9 Heat of Respiration for Fresh Fruits and Vegetables at Various Temperatures^a (Continued)

Commodity	Heat of Respiration (mW/kg)						Reference
	0°C	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C	
Parsley ^l	98.0-136.5	195.9-252.3	388.8-486.7	427.4-661.9	581.7-756.8	914.1-1012.0	Hruschka and Warr (1979)
Parsnips							
United Kingdom	34.4-46.1	26.2-51.9	60.6-78.1	95.5-127.1	—	—	Smith (1957)
Canada, Hollow Crown ^g	10.7-24.2	18.4-45.6	—	64.0-137.2	—	—	Van den Berg and Lentz (1972)
Peaches							
Elberta	11.2	19.4	46.6	101.8	181.9	266.7 at 27°C	Haller et al. (1932)
Several cultivars	12.1-18.9	18.9-27.2	—	98.4-125.6	175.6-303.6	241.5-361.3	Lutz and Hardenburg (1968)
Peanuts							
Cured ^b	0.05 at 1.7°C					0.5 at 30°C	Thompson et al. (1951)
Not cured, Virginia Bunch ^l						42.0 at 30°C	Schenk (1959, 1961)
Dixie Spanish						24.5 at 30°C	Schenk (1959, 1961)
Pears							
Bardett	9.2-20.4	15.0-29.6	—	44.6-178.0	89.2-207.6	—	Lutz and Hardenburg (1968)
Late ripening	7.8-10.7	17.5-41.2	23.3-55.8	82.4-126.1	97.0-218.2	—	IIR (1967)
Early ripening	7.8-14.5	21.8-46.1	21.9-63.0	101.8-160.0	116.4-266.7	—	IIR (1967)
Peas							
Green-in-pod	90.2-138.7	163.4-226.5	—	530.1-600.4	728.4-1072.2	1018.4-1118.3	Lutz and Hardenburg (1968), Tewfik and Scott (1954)
shelled	140.2-224.1	234.7-288.7	—	—	1035-1630	—	Lutz and Hardenburg (1968), Tewfik and Scott (1954)
Peppers, sweet	*b	*b	42.7	67.9	130.0	—	Scholz et al. (1963)
Persimmons		17.5		34.9-41.7	59.2-71.3	86.3-118.8	Gore (1911), Lutz and Hardenburg (1968)
Pineapple							
Mature green	*b	*b	165	38.3	71.8	105.2 at 27°C	Scholz et al. (1963)
Ripening	*b	*b	22.3	53.8	118.3	185.7	Scholz et al. (1963)
Plums, Wickson	5.8-8.7	11.6-26.7	26.7-33.9	35.4-36.9	53.3-77.1	82.9-210.5	Claypool and Allen (1951)
Potatoes							
California white, rose							
immature	*b	34.9	41.7-62.1	41.7-91.7	53.8-133.7		Sastry et al. (1978)
mature	*b	17.5-20.4	19.7-29.6	19.7-34.9	19.7-47.0		Sastry et al. (1978)
very mature	*b	15.0-20.4	20.4	20.4-29.6	27.2-35.4		Sastry et al. (1978)
Katahdin, Canada ^l	*b	11.6-12.6		23.3-30.1			Van den Berg and Lentz (1972)
Kennebec	*b	10.7-12.6		12.6-26.7			Van den Berg and Lentz (1972)
Radishes							
With tops	43.2-51.4	56.7-62.1	91.7-109.1	207.6-230.8	368.1-404.5	469.4-571.8	Lutz and Hardenburg (1968)
Topped	16.0-17.5	22.8-24.2	44.6-97.0	82.4-97.0	141.6-145.5	199.8-225.5	Lutz and Hardenburg (1968)
Rhubarb, topped	24.2-39.3	32.5-53.8		91.7-134.8	118.8-168.8		Hruschka (1966)
Rutabaga, Laurentian, Canada^k	5.8-8.2	14.1-15.1		31.5-46.6			Van den Berg and Lentz (1972)
Spinach							
Texas		136.3	328.3	530.5	682.3		Scholz et al. (1963)
United Kingdom, summer	34.4-63.5	81.0-95.5	173.6-222.6		549.0-641.6 at 18°C		Smith (1957)
winter	51.9-75.2	86.8-186.7	202.2-306.5		578.1-722.6 at 18°C		Smith (1957)
Squash							
Summer, yellow, straight-neck	†b	†b	103.8-109.1	222.6-269.6	252.2-288.6		Lutz and Hardenburg (1968)
Winter butternut	*b	*b	—	—	—	219.7-362.3	Lutz and Hardenburg (1968)
Sweet Potatoes							
Cured, Puerto Rico	*b	*b	†b	47.5-65.5			Lewis and Morris (1956)
Yellow Jersey	*b	*b	†b	65.5-68.4			Lewis and Morris (1956)
Noncured	*b	*b	*b	84.9		160.5-217.3	Lutz and Hardenburg (1968)
Tomatoes							
Texas, mature green ripening	*b	*b	*b	60.6	102.8	126.6 at 27°C	Scholz et al. (1963)
	*b	*b	*b	79.1	120.3	143.1 at 27°C	Scholz et al. (1963)

Table 9 Heat of Respiration for Fresh Fruits and Vegetables at Various Temperatures^a (Continued)

Commodity	Heat of Respiration (mW/kg)						Reference
	0°C	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C	
California, mature green	*b	*b	*b		71.3-103.8	88.7-142.6	Workman and Pratt (1957)
Turnip, roots	25.7	28.1-29.6		63.5-71.3	71.3-74.2	—	Lutz and Hardenburg (1968)
Watercress ^l	44.5	133.6	270.1-359.1	403.6-581.7	896.3-1032.8	1032.9-1300.0	Hruschka and Want (1979)

^aColumn headings indicate temperatures at which respiration rates were determined, within 1 K, except where the actual temperatures are given.

^bThe symbol * denotes a chilling temperature. The symbol † denotes the temperature is borderline, not damaging to some cultivars if exposure is short.

^cRates are for 30 to 60 days and 60 to 120 days storage, the longer storage having the higher rate, except at 0°C, where they were the same.

^dRates are for 30 to 60 days and 120 to 180 days storage, respiration increasing with time only at 15°C.

^eRates are for 30 to 60 days storage.

^fRates are for 30 to 60 days and 120 to 180 days storage; rates increased with time at all temperatures as dormancy was lost.

^gRates are for 30 to 60 days and 120 to 180 days; rates increased with time at all temperatures.

^hShelled peanuts with about 7% moisture. Respiration after 60 hours curing was almost negligible, even at 30°C.

ⁱRespiration for freshly dug peanuts, not cured, with about 35-40% moisture. During curing, peanuts in the shell were dried to about 5-6% moisture, and in roasting are dried further to about 2% moisture.

^jRates are for 30-60 days and 120-180 days with rate declining with time at 5°C but increasing at 15°C as sprouting started.

^kRates are for 30-60 days and 120-180 days; rates increased with time, especially at 15°C where sprouting occurred.

^lRates are for 1 day after harvest.