

 **ÍNDICE**

PRÓLOGO	3
1 LA INSTALACIÓN FRIGORÍFICA	17
1.1 INTRODUCCIÓN	19
1.2 EL CICLO DE CARNOT	23
1.2.1 COEFICIENTES DE EFECTO FRIGORÍFICO	25
1.2.2 CICLOS REALES	26
1.2.2.1 COP TÉCNICO	26
1.2.2.2 COP PRÁCTICO	26
1.2.2.3 COP GLOBAL	27
1.2.2.4 COP MEDIO ESTACIONAL	27
1.2.3 DIAGRAMAS UTILIZADOS EN UNA INSTALACIÓN FRIGORÍFICA	28
1.2.4 EL CICLO FRIGORÍFICO. EVOLUCIÓN TEÓRICA Y REAL	29
1.2.4.1 TRAZADO DE UN CICLO FRIGORÍFICO EN UN DIAGRAMA ENTÁLPICO	30
1.2.4.2 OBSERVACIONES.	33
1.2.4.3 COEFICIENTE DE EFECTO FRIGORÍFICO	34
1.2.5 MODIFICACIONES SOBRE EL CICLO IDEAL	36
1.2.5.1 SUBENFRIAMIENTO DEL LÍQUIDO REFRIGERANTE	36
1.2.5.2 RECALENTAMIENTO DE LOS VAPORES ASPIRADOS	37
1.2.5.3 PÉRDIDAS DE CARGA EN EVAPORACIÓN Y CONDENSACIÓN ...	38
1.2.6 EVOLUCIÓN REAL DEL CICLO	39
1.2.7 MODIFICACIONES EN LA PRESIÓN DE CONDENSACIÓN	40
1.2.8 MODIFICACIONES EN LA PRESIÓN DE EVAPORACIÓN	41

1.3 TIPOS DE CICLOS FRIGORÍFICOS CON FLUIDO CONDENSABLE	42
1.3.1 CICLO CON UNA SOLA COMPRESIÓN Y SIN SUBENFRIAMIENTO NI RECALENTAMIENTO	42
1.3.2 CICLO CON UNA SOLA COMPRESIÓN Y CON SUBENFRIAMIENTO Y RECALENTAMIENTO	43
1.4 ESQUEMAS DE INSTALACIONES FRIGORÍFICAS	44
1.4.1 COMPRESIÓN SIMPLE CON EXPANSIÓN MÚLTIPLE	44
1.4.2 SISTEMAS DE COMPRESIÓN MÚLTIPLE	45
1.4.2.1 SISTEMA DE COMPRESIÓN MÚLTIPLE DIRECTA	46
1.4.3.2 SISTEMA DE COMPRESIÓN MÚLTIPLE INDIRECTA. CASCADA ..	51
1.5 REFRIGERACIÓN MEDIANTE ABSORCIÓN	53
1.5.1 UN POCO DE HISTORIA	53
1.5.2 CICLO DE REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN	54
1.5.3 DIAGRAMA LogP-1/T	57
1.5.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS	58
1.6 CICLOS CON MÁQUINAS FRIGORÍFICAS NO CONVENCIONALES	59
1.6.1 EYECTOR DE VAPOR	59
1.6.2 REFRIGERACIÓN AL VACÍO O ENFRIAMIENTO AL VACÍO	60
1.7 LICUACIÓN DE GASES-CRIOGENIA	60
1.8 CÁLCULO DE LAS NECESIDADES FRIGORÍFICAS	62
1.8.1 ESTIMACIÓN DE LA CARGA TÉRMICA DE UNA CÁMARA	63
1.8.2 MÉTODO GENERAL DE CÁLCULO DE CARGA TÉRMICA	64
1.8.3 CARGA POR TRANSMISIÓN DE CALOR	64
1.8.4 CARGA DE INFILTRACIÓN	69
1.8.5 CARGA DEL PRODUCTO	73
1.8.5.1 ENFRIAMIENTO DEL PRODUCTO A TEMPERATURA SUPERIOR A LA DE CONGELACIÓN	73
1.8.5.2 ENFRIAMIENTO DEL PRODUCTO A TEMPERATURA INFERIOR A LA DE CONGELACIÓN	73
1.8.5.3 PÉRDIDAS DE CARGA POR RECIPIENTES Y MATERIALES DE EMPAQUE	74
1.8.6 CARGA MISCELÁNEA	75
1.8.6.1 CARGA DE PERSONAS	75
1.8.6.2 CARGA DE EQUIPOS ELÉCTRICOS	76
1.8.6.3 PÉRDIDAS POR ALUMBRADO ELÉCTRICO	77
1.8.6.4 PÉRDIDAS POR RESISTENCIAS	77
1.9 ESQUEMA DE UNA INSTALACIÓN FRIGORÍFICA	86

2 COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN FRIGORÍFICA	89
2.1 COMPRESORES	91
2.1.1 INTRODUCCIÓN	91
2.1.2 TIPOS DE COMPRESORES	91
2.1.2.1 COMPRESORES ALTERNATIVOS	92
2.1.3 COMPRESORES ROTATIVOS	96
2.1.3.1 COMPRESORES DE PALETAS MÓVILES	96
2.1.3.2 COMPRESORES DE PALETA FIJA	97
2.1.3.3 COMPRESORES TIPO SCROLL	98
2.1.4 COMPRESORES CENTRÍFUGOS	99
2.1.5 COMPRESORES DE TORNILLO	101
2.1.6 COMPARACIÓN ENTRE COMPRESORES ALTERNATIVOS Y DE TORNILLO ..	102
2.1.7 COMPRESORES COMPOUND-BOOSTER O DE ETAPAS	103
2.1.8 EJEMPLO DE CÁLCULO	105
2.2 CONDENSADORES Y TORRES DE REFRIGERACIÓN	106
2.2.1 INTRODUCCIÓN	106
2.2.2 TIPOS DE CONDENSADORES	107
2.2.2.1 CONDENSADORES DE REFRIGERACIÓN POR AIRE	108
2.2.2.2 CONDENSADORES REFRIGERADOS POR AGUA	109
2.2.2.3 CONDENSADORES EVAPORATIVOS	112
2.2.3 CÁLCULO Y BALANCE ENERGÉTICO	114
2.2.4 PROCESOS ENERGÉTICOS EN EL CONDENSADOR	114
2.2.5 TORRES DE REFRIGERACIÓN	117
2.2.6 REGULACIÓN DE PRESIÓN CONSTANTE EN CONDENSADORES	118
2.2.6.1 REGULACIÓN EN CONDENSADORES REFRIGERADOS POR AGUA	119
2.2.6.2 REGULACIÓN EN CONDENSADORES REFRIGERADOS POR AIRE.	120
2.2.7 REGULACIÓN CON FUNCIONAMIENTO DE TORRE DE REFRIGERACIÓN ...	121
2.3 EVAPORADORES	122
2.3.1 INTRODUCCIÓN	122
2.3.2 TIPOS DE EVAPORADORES	123
2.3.2.1 SISTEMA SECO	124
2.3.2.2 SISTEMA SEMI-INUNDADO	125
2.3.2.3 SISTEMA INUNDADO	126

2.3.3	DISEÑO DE EVAPORADORES	127
2.3.4	ELECCIÓN DE LA ALIMENTACIÓN DEL REFRIGERANTE POR LA PARTE SUPERIOR O INFERIOR	128
2.3.5	LA CARGA DE REFRIGERANTE	128
2.3.6	CONTROL DEL NIVEL DE REFRIGERANTE	129
2.3.7	RÉGIMEN DE TRABAJO DE LOS EVAPORADORES	129
2.3.8	DISPOSICIONES DEL EVAPORADOR	130
2.3.9	BALANCE Y CÁLCULO ENERGÉTICO	132
2.4	VÁLVULAS DE EXPANSIÓN	135
2.4.1	INTRODUCCIÓN	135
2.4.2	TIPOS DE DISPOSITIVOS DE EXPANSIÓN	137
2.4.2.1	TUBOS CAPILARES	137
2.4.2.2	ORIFICIOS CALIBRADOS	140
2.4.2.3	VÁLVULAS DE EXPANSIÓN MANUAL	141
2.4.2.4	VÁLVULAS DE EXPANSIÓN AUTOMÁTICAS	142
2.4.2.5	VÁLVULAS DE EXPANSIÓN TERMOSTÁTICAS	143
2.4.2.6	VÁLVULAS DE EXPANSIÓN DE FLOTADOR	157
2.4.2.7	VÁLVULAS DE EXPANSIÓN ELECTRÓNICAS	159
2.5	OTROS ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN FRIGORÍFICA	161
2.5.1	ACCESORIOS	161
2.5.2	SEPARADORES DE ACEITE	162
2.5.2.1	SELECCIÓN DE SEPARADORES DE ACEITE	163
2.5.3	FILTROS DESHIDRATADORES	164
2.5.4	FILTROS DE MALLA	166
2.5.5	VISORES DE LÍQUIDO	167
2.5.6	INTERCAMBIADORES DE CALOR	169
2.5.7	SEPARADORES DE LÍQUIDO	169
2.5.8	RECIPIENTES DE LÍQUIDO	169
2.5.9	PURGADORES DE INCONDENSABLES	171
2.5.10	ELIMINADORES DE VIBRACIONES. ANACONDAS	171
2.5.11	VÁLVULAS Y Kv	171
2.5.11.1	EL FACTOR Kv	171
2.5.11.2	VÁLVULAS DE CORTE	172
2.5.11.3	VÁLVULAS DE SERVICIO DEL COMPRESOR	172
2.5.11.4	VÁLVULAS DE RETENCIÓN	172
2.5.11.5	VÁLVULAS SOLENOIDES	172
2.5.11.6	VÁLVULAS REGULADORAS DE PRESIÓN Y TEMPERATURA	173



2.5.12	DISPOSITIVOS DE CONTROL	174
2.5.12.1	REGULADORES	174
2.5.12.2	TERMOSTATOS	177
2.5.12.3	PRESOSTATOS	178
2.5.12.4	HIGROSTATOS	179
2.5.12.5	RESISTENCIA ELÉCTRICA EN EL CÁRTER DEL COMPRESOR	179
2.6	REFRIGERANTES	179
2.6.1	FLUIDOS FRIGORÍGENOS O REFRIGERANTES "PRIMARIOS"	180
2.6.2	REFRIGERANTES PRECURSORES	180
2.6.3	APARICIÓN DE REFRIGERANTES "SEGUROS"	181
2.6.4	TIPOS DE REFRIGERANTES	181
2.6.5	REQUISITOS A CUMPLIR POR LOS REFRIGERANTES	184
2.6.6	FLUIDOS FRIGORÍGENOS O REFRIGERANTES "SECUNDARIOS"	187
2.6.7	CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES DE LOS REFRIGERANTES SECUNDARIOS	188
2.7	LOS ACEITES	189
2.7.1	INTRODUCCIÓN	189
2.7.2	EFFECTOS DEL ACEITE EN EL LADO DEL REFRIGERANTE	190
2.7.3	VÁLVULA DE RETORNO DEL ACEITE	191
2.7.4	EFFECTOS DEL NIVEL DE ACEITE EN EL COMPRESOR	192
2.8	AISLAMIENTO DE CÁMARAS E INSTALACIONES	192
2.8.1	PROPIEDADES GENERALES DE LOS MATERIALES AISLANTES	192
2.8.2	CLASIFICACIÓN DE LOS AISLANTES	193
2.8.3	CARACTERÍSTICAS A CUMPLIR POR LOS MATERIALES AISLANTES	194
2.8.4	COEFICIENTE DE CONDUCTIVIDAD DEL CALOR	195
2.8.5	CÁMARAS O ALMACENES FRIGORÍFICOS	196
2.8.5.1	CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DE LAS CÁMARAS FRIGORÍFICAS	196
2.8.6	VÁLVULAS PARA EQUILIBRADO DE PRESIONES	196
2.8.7	ESPESOR DE AISLAMIENTO	198
2.9	CÁLCULO DE UNA CÁMARA	200
2.9.1	CÁLCULO DE UN ALMACÉN DE MANZANAS, PERAS Y MELOCOTONES ..	200
2.9.2	TOMA DE DATOS	200
2.9.3	CÁLCULO DEL EVAPORADOR	205

2.9.4	NECESIDADES FRIGORÍFICAS DE LA PLANTA PARA LA ELECCIÓN DE LOS COMPRESORES	207
2.9.5	CÁLCULO DEL CONDENSADOR	208
3	CÁLCULO DE TUBERÍAS EN LA INSTALACIÓN FRIGORÍFICA	211
3.1	EFFECTO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN LA CIRCULACIÓN DE UN FLUIDO FRIGORÍFICO SOBRE EL CICLO SATURADO SIMPLE	213
3.2	CARACTERÍSTICAS DE LAS TUBERÍAS DE REFRIGERACIÓN	214
3.3	CONSIDERACIONES GENERALES EN EL DISEÑO DE TUBERÍAS	215
3.4	PÉRDIDAS DE CARGA EQUIVALENTES A LA LONGITUD DE LAS TUBERÍAS	217
3.5	DIMENSIONADO DE LAS TUBERÍAS DE DESCARGA	218
3.6	DIMENSIONADO DE LAS LÍNEAS DE LÍQUIDO	220
3.7	DIMENSIONADO DE LAS LÍNEAS DE ASPIRACIÓN	223
3.8	DOBLE REMONTE VERTICAL	226
4	CENTRALES DE FRÍO	229
5	AHORRO DE ENERGÍA	239
5.1	ENTIDADES INVOLUCRADAS EN EL AHORRO ENERGÉTICO	241
5.1.1	USUARIOS	241
5.1.2	PROPIETARIOS	242
5.1.3	FABRICANTES	242
5.1.4	CONSULTING – INGENIERÍAS	242
5.1.5	EMPRESAS INSTALADORAS	243
5.1.6	EMPRESAS DE MANTENIMIENTO	243
5.1.7	ADMINISTRACIONES PÚBLICAS	244
5.2	AHORRO POR DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DE AISLAMIENTO	245

5.3 AHORRO POR UTILIZACIÓN DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS DE REGULACIÓN	245
5.4 AHORRO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE INTERCAMBIADORES	246
5.4.1 INTERCAMBIADOR LÍQUIDO-ASPIRACIÓN	246
5.4.2 SUBENFRIAMIENTO DE LÍQUIDO	247
5.4.3 DESESCARCHE POR GAS CALIENTE	247
5.5 CONDICIONES DE DISEÑO DE LAS INSTALACIONES	248
5.5.1 ELIMINACIÓN DE LOS CONTAMINANTES DE LOS SISTEMAS FRIGORÍFICOS	249
5.5.2 REDUCIR LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN LA LÍNEA DE ASPIRACIÓN	250
5.5.3 AJUSTE DE LA POTENCIA A LA DEMANDA	250
5.5.3.1 VARIACIÓN DE CARGA EN COMPRESORES	250
5.5.4 CONTROL Y REGULACIÓN DE LA PRESIÓN DE ASPIRACIÓN	251
5.5.4.1 PRESIÓN DE ASPIRACIÓN FLOTANTE	252
5.5.4.2 CONDENSADORES	252
5.6 RECUPERACIÓN DE CALOR EN INSTALACIONES FRIGORÍFICAS	254
5.6.1 RECUPERACIÓN DE CALOR PARA AGUA CALIENTE SANITARIA O CALEFACCIÓN	254
5.6.2 RECUPERACIÓN DE CALOR PARA CALEFACCIÓN	255
5.6.3 SISTEMAS MIXTOS DE RECUPERACIÓN DE CALOR	256
6 CONSERVACIÓN DE LOS EQUIPOS FRIGORÍFICOS	257
6.1 COMPRESORES FRIGORÍFICOS	259
6.1.1 ACEITE LUBRICANTE	259
6.1.2 GOLPES DE LÍQUIDO	260
6.1.3 REGULACIÓN DE CAPACIDAD	261
6.2 EVAPORADORES	261
6.2.1 EL RECALENTAMIENTO	262
6.2.2 FALTA DE REFRIGERANTE	263
6.2.3 EL PRODUCTO SE SECA	264
6.2.4 EL PRODUCTO REZUMA HUMEDAD	265
6.2.5 CONTROL DEL DESESCARCHE	265

6.2.5.1	DESESCARCHE ELÉCTRICO	266
6.2.5.2	DESESCARCHE POR AIRE	267
6.2.5.3	DESESCARCHE POR AGUA	267
6.2.5.4	DESESCARCHE POR GASES	267
6.3	EL REFRIGERANTE	269
6.3.1	GOLPES DE LÍQUIDO	269
6.3.2	FALTA DE REFRIGERANTE	269
6.3.3	HUMEDAD	269
6.3.4	PRE-EVAPORACIÓN	270
6.4	RECIPIENTES A PRESIÓN	270
6.4.1	VÁLVULA DE SEGURIDAD	271
6.5	CONDENSADORES	272
6.5.1	CONDENSACIÓN POR AIRE	272
6.5.1.1	TEMPERATURA ALTA	272
6.5.1.2	TEMPERATURA BAJA	272
6.5.2	CONDENSACIÓN POR AGUA	273
6.5.2.1	CONDENSADOR MULTITUBULAR	273
6.5.2.2	TORRE DE REFRIGERACIÓN	273
6.5.2.3	AERORREFRIGERADORES	274
6.6	ATMÓSFERA CONTROLADA	274
6.7	REVISIONES OBLIGATORIAS	275
6.8	PROCESO DE PUESTA EN MARCHA DE UNA INSTALACIÓN FRIGORÍFICA	275
6.8.1	CONTROL DE LAS PRESIONES DE FUNCIONAMIENTO	276
6.8.2	PROTECCIONES POR MANIOBRA ELÉCTRICA	276
6.8.3	VÁLVULA DE EXPANSIÓN TERMOSTÁTICA	277
6.8.4	CONTROLADORES DE TEMPERATURA	277
6.8.5	ÚLTIMAS REGULACIONES	278
6.8.6	ARRANQUE DE LA INSTALACIÓN	278
6.8.7	PERÍODO DE FUNCIONAMIENTO INICIAL	278
6.8.8	CONTROLES DESPUÉS DEL PERIODO DE FUNCIONAMIENTO INICIAL	278
6.8.9	CONTROL TRAS SIETE DÍAS DE FUNCIONAMIENTO	279

7 APLICACIONES INDUSTRIALES	281
7.1 CONCEPTOS GENERALES DE BIOLOGÍA Y BROMATOLOGÍA	283
7.1.1 FUNDAMENTOS DEL TRATAMIENTO POR EL FRÍO	283
7.1.2 CAMBIOS QUE SE PRODUCEN DURANTE EL TRATAMIENTO POR EL FRÍO	285
7.1.2.1 CAMBIOS FÍSICOS	285
7.1.2.2 RECRISTALIZACIÓN	287
7.1.2.3 EVAPORACIÓN Y SUBLIMACIÓN	288
7.1.2.4 MODIFICACIONES QUÍMICAS Y BIOQUÍMICAS	289
7.1.2.5 MODIFICACIONES MICROBIOLÓGICAS	290
7.2 PRODUCTOS PERECEDEROS	292
7.2.1 CARNES	292
7.2.1.1 PROCEDIMIENTOS DE CONSERVACIÓN DE LA CARNE Y SUS DERIVADOS	292
7.2.1.2 MÉTODOS FÍSICOS	293
7.2.1.3 REFRIGERACIÓN	293
7.2.1.4 ALMACENAMIENTO EN RÉGIMEN DE REFRIGERACIÓN	294
7.2.1.5 CONGELACIÓN	294
7.2.1.6 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ALMACENAMIENTO DE LA CARNE	296
7.2.2 PESCADOS	297
7.2.2.1 PROCESOS CON EL PESCADO	298
7.2.2.2 ALMACENAMIENTO DEL PESCADO FRESCO	299
7.2.2.3 PRODUCTOS PESQUEROS CONGELADOS	299
7.2.2.4 ALMACENAMIENTO DEL PESCADO CONGELADO	300
7.2.2.5 INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA	300
7.2.2.6 INFLUENCIA DE LA HUMEDAD RELATIVA	301
7.2.3 FRUTAS: CARACTERÍSTICAS GENERALES	301
7.2.3.1 MANZANAS	302
7.2.3.2 PERAS	302
7.2.3.3 CIRUELAS	303
7.2.3.4 MELOCOTONES	304
7.2.3.5 ALBARICOQUES	304
7.2.3.6 NARANJAS	304
7.2.3.7 POMELOS	305
7.2.3.8 LIMONES	305
7.2.4 VERDURAS Y HORTALIZAS	306
7.2.4.1 REFRIGERACIÓN	307
7.2.4.2 CONSERVACIÓN EN ALMACENES	307

7.2.5	LECHE	308
7.2.5.1	ASPECTOS GENERALES	308
7.2.5.2	PRODUCCIÓN DE LECHE	308
7.2.5.3	LECHE FRESCA	309
7.2.5.4	DISTRIBUCIÓN DE LA LECHE	310
7.2.5.5	MANTECA Y YOGUR	310
7.2.5.6	MANTEQUILLA	310
7.2.5.7	CHOCOLATE	311
7.2.6	HUEVOS	312
7.2.6.1	CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO EN REFRIGERACIÓN	312
7.2.6.2	CONGELACIÓN	313
7.2.6.3	DESCONGELACIÓN	313
7.2.7	HELADOS	314
7.2.7.1	CREMA HELADA	314
7.2.7.2	ENFRIAMIENTO Y CONSERVACIÓN DE LA MEZCLA	314
7.2.7.3	PROCEDIMIENTOS DE CONGELACIÓN	314
7.2.7.4	CONGELACIÓN DEL HELADO	315
7.2.7.5	ENDURECIMIENTO DEL HELADO	316
7.2.8	EL EMBALAJE DE PRODUCTOS REFRIGERADOS	316
7.2.8.1	EL EMBALAJE DE CARNE Y PRODUCTOS CÁRNICOS	317
7.2.8.2	EL EMBALAJE DE FRUTAS Y VERDURAS	319
7.3	ALMACENAMIENTO FRIGORÍFICO	321
7.3.1	ALMACENAMIENTO EN RÉGIMEN DE REFRIGERACIÓN	321
7.3.1.1	ENFRIAMIENTO	321
7.3.1.2	LAS EXIGENCIAS DEL ALMACENAMIENTO	321
7.3.1.3	DETERIORO	322
7.3.1.4	LA DESECACIÓN	322
7.3.2	CONTROL DE LA TEMPERATURA Y DE LA HUMEDAD	322
7.3.3	CIRCULACIÓN DEL AIRE	323
7.3.4	EL MOVIMIENTO DE LOS PRODUCTOS	324
7.4	TRANSPORTE FRIGORÍFICO	330
7.4.1	CLASIFICACIÓN DE LOS MEDIOS DE TRANSPORTE	330
7.4.2	MÉTODOS DE ENFRIAMIENTO	331
7.4.3	PRÁCTICA DEL TRANSPORTE	334
7.4.4	TAREAS DE CARGA Y DESCARGA	336