

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUDITORÍA ENERGÉTICA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE LA PLANTA DE ELABORADOS Y EMBUTIDOS DE PRONACA

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

RICARDO JOSÉ MONTA MORALES
moz_4@hotmail.com

DIRECTOR: ING. ADRIÁN PATRICIO PEÑA IDROVO, M.Sc.
patricio.pena@epn.edu.ec

Quito, Octubre 2013

DECLARACIÓN

Yo, Ricardo José Monta Morales, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

RICARDO JOSE MONTA MORALES

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por RICARDO JOSÉ MONTA MORALES, bajo mi supervisión.

ING. ADRIÁN PATRICIO PEÑA IDROVO, M.Sc.
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi virgencita y a dios, por siempre escucharme en todos los tropiezos de mi vida. A toda mi familia, gracias a su cariño, amor y consejos logre alcanzar esta meta. A mi angelito Ingrid Valentina, ser que llevo alegrarme la vida y con su cariño inagotable me dio las fuerzas, voluntad y ganas de superarme.

Para mi mami Beto, por permitirme vivir y ser la persona que nunca dudo de mí en todo momento, gracias madre por su apoyo. A mi papi José, por sus acertados consejos, su comprensión y apoyo, gracias padre, no lo he defraudado.

Para mi esposa Ceci, a quien agradezco su comprensión, cariño y amor, que ha demostrado en todo este tiempo, hacia mí y mi hija.

A mis dos hermanos Darwin y Jhoel por ser las personas a quien más admiro, siempre sueñen en grande y esfuércense para conseguir sus metas.

A mis amigos de esta travesía, Edison, Kevin, Carlos, Jesús, Diego y a todos los demás panas que compartieron su amistad y apoyo, les agradezco.

Al Ing. Santiago Andrade, por su apoyo en mi carrera, al Ing. Luis Ojeda por permitirme el desarrollar este proyecto, y al Departamento de mantenimiento por su apoyo desinteresado.

A los ingenieros. Adrián Peña, Miguel Ortega y Víctor Hugo Hidalgo, por su acertada dirección y finalmente a mi gloriosa Escuela Politécnica Nacional por permitirme desarrollarme como persona y como profesional.

DEDICATORIA

A mi virgencita y a dios, por escucharme y sosegar mis penas.

A mi angelito, y Ceci, por su amor, ternura, cariño y fuerzas para mejorar nuestras
vidas.

A mi mami y mi papi, por inculcarme valores de esfuerzo, dedicación y
comprensión

A mis hermanos, por ensañarme que la vida es alegría y felicidad

A mis amigos por compartir su amistad en esta corta travesía

A la planta de elaborados y embutidos de PRONACA, y sus dirigentes por el
apoyo en este proyecto

A las Escuela Politécnica Nacional y su cuerpo docente, por cultivar en mi valores
y conocimientos para crecer como persona.

Y en especial a todos los soñadores, para que nunca desistan de sus anhelos ya
que hay “que querer llegar a ser Papa, para llegar a ser cura”.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1: RESEÑA DE LA PLANTA

1.1 ANTECEDENTES DE LA PLANTA.....	1
1.2 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA	2
1.3 DESCRIPCIÓN FÍSICA DE LA PLANTA	3
1.4 PRODUCTOS	12
1.5 PRODUCCIÓN DE LA PLANTA DE ELABORADOS Y EMBUTIDOS DE PRONACA	15

CAPÍTULO 2: MARCO REFERENCIAL

2.1 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE LA PLANTA DE ELABORADOS Y EMBUTIDOS DE PRONACA.....	19
2.1.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA CENTRALIZADO DE REFRIGERACIÓN CON AMONIACO.	19
2.1.2 EQUIPOS DEL SISTEMA CENTRALIZADO DE REFRIGERACIÓN CON AMONIACO	20
2.1.2.1 Ciclo de acondicionamiento de aire	21
2.1.2.1.1 Condensación	23
2.1.2.1.2 Subenfriamiento	26
2.1.2.1.3 Expansión.....	27
2.1.2.1.4 Evaporación	29
2.1.2.1.5 DT del evaporador.....	30
2.1.2.1.6 Compresión	34
2.1.2.1.7 Separador de aceite.....	38
2.1.2.2 Ciclo de dos etapas	39
2.1.2.2.1 Condensación	41

2.1.2.2.2	Subenfriamiento e Interenfriamiento	41
2.1.2.2.3	Expansión.....	44
2.1.2.2.4	Evaporación	45
2.1.2.2.5	Evaporadores que trabajan a presión intermedia.....	45
2.1.2.2.6	Sistema chiller	49
2.1.2.2.7	Evaporadores de presión baja.....	51
2.1.2.2.8	Máquina de hielo	53
2.1.2.2.9	Compresión	55
2.1.3	EQUIPOS DE LOS SISTEMAS INDIVIDUALES CON REFRIGERANTES HALOCARBUROS	58
2.1.3.1	Descripción de los equipos individuales.....	58
2.1.3.1.1	Evaporadores y válvulas de expansión	59
2.1.3.1.2	Descongelamiento por resistencias eléctricas	59
2.1.3.1.3	Unidades condensadoras	62
2.2	AUDITORÍA ENERGÉTICA	64
2.2.1	DEFINICIÓN DE AUDITORÍA ENERGÉTICA	64
2.2.2	PASOS PARA UNA AUDITORÍA ENERGÉTICA	65
2.2.3	CLASES DE AUDITORÍAS.....	65
2.2.3.1	Auditoría preliminar	65
2.2.3.2	Auditoría Energética Detallada.....	65

CAPÍTULO 3: AUDITORÍA ENERGÉTICA PRELIMINAR

3.1	ANTECEDENTES.....	67
3.1.1	DISPONIBILIDAD DE LA ENERGÍA	67
3.1.1.1	Energía eléctrica	69
3.1.1.2	Combustibles	69

3.1.1.3	Gas licuado de petróleo	70
3.1.2	CONSUMOS Y COSTOS DE LOS TIPOS DE ENERGÍA	70
3.1.3	COSTOS DEL CONSUMO ELÉCTRICOS DE LOS EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN.....	71
3.1.3.1	Análisis de costos del sistema de refrigeración.....	75
3.2	INSPECCIÓN GENERAL DE LOS EQUIPOS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE LA PLANTA DE ELABORADOS Y EMBUTIDOS DE PRONACA.	75
3.2.1	EQUIPOS DEL SISTEMA CENTRALIZADO CON AMONIACO..	76
3.2.1.1	Compresores reciprocantes	76
3.2.1.1.1	Registro de operación de compresores recíprocos ...	79
3.2.1.1.2	Registro de mantenimiento de compresores recíprocos.....	79
3.2.1.2	Condensadores evaporativos	80
3.2.1.2.1	Registro de operación de condensadores evaporativos.....	82
3.2.1.2.2	Registro de mantenimiento de condensadores evaporativos	82
3.2.1.3	Evaporadores y válvulas de expansión	83
3.2.1.3.1	Evaporadores ciclo de acondicionamiento de aire	83
3.2.1.3.2	Evaporadores del ciclo de refrigeración de dos etapas.	85
3.2.1.3.3	Registro de operación de los evaporadores del sistema de refrigeración.....	88
3.2.1.3.4	Registro de mantenimiento de los evaporadores del sistema de refrigeración	88
3.2.1.4	Vaporizadores e intercooler.....	88
3.2.1.5	Sistema chiller y máquina de hielo.....	90

3.2.1.6	Líneas de amoniaco.....	92
3.2.1.7	Determinación de consumo de amoniaco.....	95
3.1.4	EQUIPOS CON HALOCARBUIROS COMO REFRIGERANTES.....	96
3.1.5	RECOPIACIÓN DE DATOS DE OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN DE LA PLANTA DE ELABORADOS Y EMBUTIDOS DE PRONACA.....	98
3.3	INSPECCIÓN GENERAL Y MEDICIONES DE LAS CÁMARAS FRIGORÍFICAS	101
3.4	INFORME PRELIMINAR DE LA AUDITORÍA ENERGÉTICA.....	108

CAPÍTULO 4: AUDITORÍA ENERGÉTICA DETALLADA

4.1	ANTECEDENTES.....	112
4.1.1	PROCESAMIENTO DE DATOS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.....	112
4.2	ANÁLISIS DE LOS CICLOS IDEALES CON REFRIGERANTE AMONIACO	113
4.2.1	CICLO DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE	114
4.2.1.1	Cálculo del COP en el ciclo teórico de acondicionamiento de aire.....	117
4.2.2	CICLO DE REFRIGERACIÓN DE DOS ETAPAS	118
4.2.2.1	Cálculo del COP en el ciclo ideal de dos etapas	123
4.3	ANÁLISIS DE LOS CICLOS IDEALES CON REFRIGERANTES HALOCARBUIROS.....	124
4.3.1	CICLO CON REFRIGERANTE HALOCARBUIRO	125
4.3.1.1	Propiedades en los ciclos con refrigerante R-22.....	126
4.3.1.2	Propiedades en los ciclos con refrigerante R-507.....	128

4.3.1.3 Cálculo del COP en el ciclo teórico con refrigerante halocarburo	129
4.4 ANÁLISIS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN COMO UN CICLO REAL.....	130
4.4.1 CICLO DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE	130
4.4.1.1Cálculo del COP en el ciclo real de acondicionamiento de aire.....	132
4.4.2 CICLO DE REFRIGERACIÓN DE DOS ETAPAS	132
4.4.2.1Cálculo del COP en el ciclo real de refrigeración de dos etapas.....	137
4.4.3RELACIÓN ENTRE EL COP TEÓRICO Y EL COP REAL	138
4.5 ANÁLISIS DE GANANCIAS DE CALOR EN LAS CÁMARAS DE REFRIGERACIÓN INSPECCIONADAS MEDIANTE TERMOGRAFÍA....	140
4.5.1FLUJO DE CALOR EN ZONAS CALIENTES DE LA CÁMARA CN00A000	141
4.5.2FLUJO DE CALOR POR INFILTRACIÓN DE AIRE EXTERNO EN LA CÁMARA CN002000	144
4.6 PROPUESTAS DE MEJORA PARA EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	153
4.7.1 MEJORA DEL COP	154
4.7.2 MEJORA EN EL AISLAMIENTO DE LAS CÁMARAS DE REFRIGERACIÓN.....	154
4.7.3 MEJORA ENACCESORIOS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.....	155
4.7.4 DETECCIÓN Y CORRECCIÓN DE FUGAS DE AMONIACO EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	155

CAPÍTULO 5: EVALUACIÓN TÉCNICA - ECONÓMICA DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA

5.1 ANTECEDENTES.....	156
5.2 MEJORAMIENTO DEL COP EN LOS CICLOS DE REFRIGERACIÓN CON HALOCARBUIROS.....	156
5.2.1EVALUACIÓN TÉCNICA.....	156
5.2.2.1Propiedades en los ciclos con refrigerante R-22	159
5.2.2.2 Propiedades en los ciclos con refrigerante R-507	160
5.2.2.3Cálculo del COP propuesto del ciclo con halocarburo para la unidad condensadora y el evaporador CTE09000 - CTE19000	161
5.2.2EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	161
5.3 MEJORAMIENTO DEL AISLAMIENTO EN LAS CÁMARAS DE REFRIGERACIÓN	163
5.3.1EVALUACIÓN TÉCNICA.....	163
5.3.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA.....	167
5.4MEJORA EN ACCESORIOS Y SISTEMAS DE MEDICIÓN	170
5.5DETECCIÓN Y CORRECCIÓN DE FUGAS DE AMONACO EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.....	170
5.6RESUMEN DE LOS AHORROS ECONÓMICOS DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA	171
5.7 COSTOS DEL PROYECTO.....	172
5.7.1COSTOS DE INVERSIÓN.....	173
5.7.2 COSTOS DIFERIDOS.....	173
5.7.3 COSTOS DE OPERACIÓN.....	174
5.7.4 DEPRECIACIÓN Y AMORTIZACIÓN	174
5.7.5 FLUJO NETO DE EFECTIVO	175
5.8 CÁLCULO DE INDICADORES ECONÓMICOS	177
5.8.1 VALOR ACTUAL NETO “VAN”	177
5.8.2 TASA DE RETORNO INTERNO “TIR”	178

5.8.3 ANÁLISIS BENEFICIO- COSTO “B/C”	178
5.8.4 PERÍODO DE DEVOLUCIÓN	179

CAPÍTULO 6: INFORME DE LA AUDITORÍA ENERGÉTICA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

6.1 INTRODUCCIÓN	180
6.2 RESUMEN EJECUTIVO	180
6.3 PLAN DE ACCIÓN DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA.....	183
6.4 PLAN DE MONITOREO DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA.....	183

CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES	185
7.2 RECOMENDACIONES.....	187

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1.1 Planta de elaborados y embutidos de Pronaca.....	3
Figura N° 1.2 Descripción de la codificación de la planta.....	4
Figura N° 1.3 Descripción de la nueva codificación de la planta.....	5
Figura N° 1.4 Curvas de variación de producto embutido.....	16
Figura N° 1.5 Curva de variación de producto congelado.....	17
Figura N° 1.6 Curva de variación anual de producto embutido vs. congelado ..	18
Figura N° 2.1 Esquema del ciclo de acondicionamiento de aire de la planta de elaborados y embutidos de PRONACA.	22
Figura N° 2.2 Esquema de las partes principales de un condensador evaporativo marca VILTER.....	24
Figura N° 2.3 Gráfica del factor de capacidad para amoníaco vs. Temperatura de bulbo húmedo.....	25
Figura N° 2.4 Partes importantes del vaporizador de 24 pulgadas.....	27
Figura N° 2.5 Control de flujo del refrigerante en el proceso de expansión.....	29
Figura N° 2.6 Partes principales de un típico evaporador del sector de elaboración.....	33
Figura N° 2.7 Partes importantes del compresor de amoníaco marca Vilter.....	35
Figura N° 2.8 Gráfica de presión de descarga vs. presión de succión del compresor marca Vilter.....	36
Figura N° 2.9 Gráfica de toneladas de refrigeración vs. temperatura de saturación a la succión del compresor marca Vilter.....	37
Figura N° 2.10 Separador de aceite.....	38
Figura N° 2.11 Esquema del ciclo de refrigeración de dos etapas de la planta de elaborados y embutidos de PRONACA.....	40
Figura N° 2.12 Partes del vaporizador de D= 16 pulgadas marca Vilter.....	42
Figura N° 2.13 Partes importantes del intercooler de D= 24 pulgadas marca Vilter.....	44

Figura N° 2.14	Esquema de evaporador modelo LP 5 marca Vilter	47
Figura N° 2.15	Partes importantes del sistema chiller	50
Figura N° 2.16	Esquema de un evaporador modelo HP14 marca Vilter.....	51
Figura N° 2.17	Principio de funcionamiento para la formación de la escarcha de hielo.....	54
Figura N° 2.18	Partes de una máquina de hielo.....	55
Figura N° 2.19	Partes del compresor de 8 cilindros marca VILTER	57
Figura N° 2.20	Descongelamiento por resistencias eléctricas en un evaporador marca COPELAND.....	60
Figura N° 2.21	Partes principales de una unidad individual de refrigeración marca Copeland.....	62
Figura N° 2.22	Sistemas donde se puede realizar una auditoría energética.....	64
Figura N° 3.1	Tanque de almacenamiento de combustibles	69
Figura N° 3.2	Recipiente de almacenamiento de G.L.P.	70
Figura N° 3.3	Costos totales de los tipos de energía del año 2011	71
Figura N° 3.4	Curvas de costos de energía eléctrica versus meses del año....	72
Figura N° 3.5	Porcentaje de costos de energía eléctrica en los equipos de refrigeración de la planta de elaborados y embutidos de PRONACA.	75
Figura N° 3.6	a) Daños encontrado en el compresor SNCM2000 b) Daños encontrados en el compresor SNCM3000.	78
Figura N° 3.7	Lubricante que se desperdicia en el compresor SNCM1000.....	79
Figura N° 3.8	Codificación del mantenimiento programado tipo inspección	80
Figura N° 3.9	Codificación del mantenimiento programado tipo mantenimiento	80
Figura N° 3.10	Daño encontrado en el condensador evaporativo SNCN2000 .	82
Figura N° 3.11	Válvula reguladora de presión deteriorada tubería de succión sector de elaboración.....	83
Figura N° 3.12	Válvula reguladora de presión deteriorada.....	85

Figura N° 3.13 Escarcha de hielo formado en la tubería de las válvulas de nivel del vaporizador SNAM3000	89
Figura N° 3.14 Consumo de amoniaco en el sistema de refrigeración.....	95
Figura N° 3.15 Esquema de funcionamiento de una típica cámara termográfica	102
Figura N° 3.16 Zonas de inspección termográfica realizadas en una típica cámara de refrigeración.	103
Figura N° 3.17 a) Fotografía digital de la zona 1-1' b) fotografía termográfica de la zona 1-1'	104
Figura N° 4.1 Esquema del reparto de consumo del sistema de refrigeración.....	112
Figura N° 4.2 Caídas de presión en varias partes del sistema.....	113
Figura N° 4.3 Flujo de calor a en las zonas calientes al ambiente refrigerado en el interior de la cámara.....	140
Figura N° 5.1 Temperatura de operación vs. Espesor de panel de asilamiento.....	163
Figura N° 5.2 Resumen de costos del proyecto	173

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1.1 Turnos de trabajo en la planta	3
Tabla N°1.2 Zonas y sectores de la planta de elaborados y embutidos de PRONACA.....	4
Tabla N°1.3 Máquinas y equipos considerados en el sector de elaboración.....	6
Tabla N°1.4 Máquinas y equipos considerados en la zona de ahumados	7
Tabla N°1.5 Máquinas y equipos considerados en el sector de preformados	7
Tabla N°1.6 Cámaras en el sector de cámaras	9
Tabla N°1.7 Máquinas y equipos considerados en el sector de cámaras	9
Tabla N°1.8 Máquinas y equipos considerados en el sector de empaque	10
Tabla N°1.9 Máquinas y equipos considerados en el sector de casa de fuerza	11
Tabla N°1.10 Productos congelados que se elaboran en la planta de elaborados y embutidos de PRONACA	13
Tabla N°1.11 Productos embutidos que se elaboran en la planta de elaborados y embutidos de Pronaca	14
Tabla N°1.12 Cantidad de producto por mes	15
Tabla N° 2.1 Aplicaciones de las temperaturas en sectores de la planta de elaborados y embutidos de PRONACA.....	20
Tabla N° 2.2 Datos técnicos de los condensadores evaporativos.....	23
Tabla N° 2.3 Datos técnicos del vaporizador.....	26
Tabla N° 2.4 Datos técnicos de los evaporadores de expansión directa del ciclo de acondicionamiento de aire	31
Tabla N° 2.5 Guía para estimar la carga térmica en varios procesos	32
Tabla N° 2.6 Datos técnicos del compresor marca Vilter	34
Tabla N° 2.7 Datos técnicos del in de 24 pulgadas	41
Tabla N° 2.8 Datos técnicos de los evaporadores a presión intermedia	46

Tabla N° 2.9 Intervalos de descongelamiento de los evaporadores de la planta de elaborados y embutidos de PRONACA.....	48
Tabla N° 2.10 Datos técnicos del chiller	49
Tabla N° 2.11 Datos técnicos de evaporadores a presión baja.....	52
Tabla N° 2.12 Datos técnicos de la máquina de hielo	53
Tabla N° 2.13 Datos técnicos de los compresores recíprocos del ciclo de refrigeración de dos etapas.....	56
Tabla N° 2.14 Datos técnicos de los evaporadores y unidades condensadoras con refrigerante halocarburo	61
Tabla N° 2.15 Datos técnicos de compresores con refrigerante halocarburo...	63
Tabla N° 3.1 Tipos de energía disponibles en la planta.....	67
Tabla N° 3.2 Consumos de los tipos de energía disponibles en la planta de elaborados y embutidos de PRONACA.....	68
Tabla N° 3.3 Costos de energía eléctrica en el sistema de refrigeración de la planta de elaborados y embutidos de PRONACA.....	73
Tabla N° 3.4 Resumen del diagnóstico preliminar de los compresores del sistema de refrigeración	77
Tabla N° 3.5 Resumen del diagnóstico preliminar de los condensadores evaporativos.....	81
Tabla N° 3.6 Resumen del diagnóstico preliminar evaporadores del ciclo de acondicionamiento de aire	84
Tabla N° 3.7 Resumen del diagnóstico preliminar evaporadores del ciclo de refrigeración (presión media de evaporación)	86
Tabla N° 3.8 Resumen del diagnóstico preliminar evaporadores del ciclo de refrigeración (presión baja de evaporación)	87
Tabla N° 3.9 Resumen del diagnóstico preliminar de los vaporizadores e interenfriador	89
Tabla N° 3.10 Resumen del diagnóstico preliminar del sistema chiller	91
Tabla N° 3.11 Resumen del diagnóstico preliminar de la máquina de hielo.....	91

Tabla N° 3.12 Medidas y diámetros de las tuberías del ciclo de acondicionamiento de aire	93
Tabla N° 3.13 Medidas y diámetros de las tuberías del ciclo de refrigeración .	94
Tabla N° 3.14 Consumo de amoniaco en el sistema centralizado de refrigeración	95
Tabla N° 3.15Resumen del diagnóstico evaporadores con halocarburo como refrigerante	97
Tabla N° 3.16Resumen del diagnóstico preliminar de unidades condensadoras	97
Tabla N° 3.17 Parámetros de funcionamiento del sistema de refrigeración con amoniaco.....	100
Tabla N° 3.18 Parámetros de funcionamiento de las unidades individuales con halocarburos.....	101
Tabla N° 3.19 Cámaras disponibles en la inspección termográfica.....	105
Tabla N° 3.20 Resultados obtenidos de la inspección termográfica.....	106
Tabla N° 4.1Propiedades del refrigerante en el ciclo teórico.....	117
Tabla N° 4.2Propiedades del refrigerante en el ciclo ideal.....	122
Tabla N° 4.3 Propiedades del refrigerante en el ciclo teórico (evaporadores CTE09000 y CTE19000)	127
Tabla N° 4.4 Propiedades del refrigerante en el ciclo teórico (evaporador CTE11000).....	127
Tabla N° 4.5 Propiedades del refrigerante en el ciclo teórico (evaporadores FA-EV033 y FA-EV034)	127
Tabla N° 4.6 Propiedades del refrigerante en el ciclo teórico (evaporadores HN001000)	128
Tabla N° 4.7 Propiedades del refrigerante en el ciclo teórico (evaporadores HN002000)	128
Tabla N° 4.8 Propiedades del refrigerante en el ciclo teórico (evaporadores PNEN1000)	128

Tabla N° 4.9 Propiedades del refrigerante en el ciclo teórico (evaporadores CTE0A000).....	129
Tabla N° 4.10 Coeficientes de desempeño en un ciclo teórico para los equipos con halocarburos.....	129
Tabla N° 4.11 Propiedades del refrigerante en el ciclo real de acondicionamiento de aire.	132
Tabla N° 4.12 Propiedades del refrigerante en el ciclo real de refrigeración de dos etapas	136
Tabla N° 4.13 Propiedad de la zona 7-7' de la cámara CN00A000.....	141
Tabla N° 4.14 Resultados parciales de los flujos de calor de la cámara CN00A000 y en la cámara temporal de almacenamiento de jamones por zonas calientes	143
Tabla N° 4.15 Flujo de calor total en la cámara CN00A000 y en la cámara temporal de almacenamiento de jamones por zonas calientes.....	144
Tabla N° 4.16 Resultados parciales de los flujos de calor por infiltración de aire en las cámaras CN002000, CN006000, CN007000, CN008000 y HN002000....	150
Tabla N° 4.17 Flujo de calor total en las cámaras CN002000, CN006000, CN007000, CN008000 y HN002000, por infiltración de aire.	153
Tabla N° 5.1 Diferencia de temperatura (DT) de diseño del evaporador.....	157
Tabla N° 5.2 Parámetros de operación propuestos en los ciclos con halocarburos	158
Tabla N° 5.3 Propiedades del refrigerante en el ciclo teórico (evaporadores CTE09000 y CTE19000)	159
Tabla N° 5.4 Propiedades del refrigerante en el ciclo teórico (evaporador CTE11000).....	160
Tabla N° 5.5 Propiedades del refrigerante en el ciclo teórico (evaporadores FA-EV033 y FA-EV034)	160
Tabla N° 5.6 Propiedades del refrigerante en el ciclo teórico (evaporadores PNEN1000)	160

Tabla N° 5.7 Propiedades del refrigerante en el ciclo teórico (evaporadores CTE0A000).....	161
Tabla N° 5.8 Coeficientes de desempeño propuestos.....	161
Tabla N° 5.9 Ahorro energéticos y económicos anuales en las unidades individuales con halocarburos.	162
Tabla N° 5. 10 Resultados obtenidos en la elección del espesor del aislamiento	164
Tabla N° 5.11 Áreas a cubrir con paneles aislantes en las cámaras que presentan infiltraciones de aire.	165
Tabla N° 5.12 Especificaciones técnicas del panel aislante tipo sándwich	165
Tabla N° 5.13 Resumen de costos por el cambio de paneles aislantes en las cámaras de la planta.	167
Tabla N° 5.14 Resumen del cálculo de “ WN” en los ciclos y cámaras del sistema de refrigeración	168
Tabla N° 5.15 Resumen de las pérdidas de energía anual y sus costos para los ciclos del sistema de refrigeración	169
Tabla N° 5.16 Ahorros energéticos y económicos en el sistema de refrigeración de la planta de elaborados y embutidos de PRONACA	172
Tabla N° 5.17 Inversión en activos fijos.....	173
Tabla N° 5.18 Inversión en activos diferidos	173
Tabla N° 5.19 Inversión total en activo fijo y diferido.....	174
Tabla N° 5.20 Depreciación, amortización de activo fijo y diferido	175
Tabla N° 5.21 Flujo neto de efectivo.....	176
Tabla N° 5.22 Valor actual neto del proyecto	178
Tabla N° 5. 23 Ingresos y egresos traídos a valores presentes	179

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo proponer una “Auditoría energética del sistema de refrigeración de la planta de elaborados y embutidos de PRONACA, para establecer mejoras en los consumos energéticos, ahorros económicos y beneficios en la planta.

El **primer capítulo** realiza una reseña histórica del grupo corporativo PRONACA y la planta de elaborados y embutidos. Se inicia con la descripción física de las instalaciones, los productos que se elaboran, procesos, y producción histórica.

El **segundo capítulo** es el marco referencial, que describe el sistema de refrigeración, los procesos termodinámicos de los equipos que involucran: compresión, condensación, subenfriamiento, expansión y evaporación, en los ciclos con amoníaco y halocarburos, además se indica las especificaciones técnicas de cada uno, para finalizar describiendo los pasos de la auditoría energética.

El **tercer capítulo** estudia la auditoría energética preliminar, que indica la disponibilidad de la energía, consumos y costos de energía eléctrica. Se realiza una inspección del estado actual de los equipos e instalaciones del sistema, se toman datos de operación y se ejecuta una inspección termográfica de las cámaras de refrigeración

El **cuarto capítulo** establece la auditoría energética detallada, en la que se analiza los ciclos del sistema de refrigeración, se calcula las ganancias de calor en las zonas críticas de las cámaras identificadas en la inspección termográfica y se indican propuestas de mejora.

El **quinto capítulo** realiza una evaluación técnica-económica de las propuestas de mejora, y se evalúa la factibilidad del proyecto mediante indicadores económicos.

Finalmente **el sexto capítulo** consiste de un informe final de la auditoría energética, **el séptimo capítulo** presenta las conclusiones y recomendaciones

INTRODUCCIÓN

La auditoría energética propuesta en el sistema de refrigeración de la planta de elaborados y embutidos de PRONACA, constituye un medio para mejorar la eficiencia del sistema, de forma que permitirá detectar procesos defectuosos en los ciclos y zonas críticas en la cámaras de refrigeración, identificando los posibles potenciales de mejora que tiene a su alcance y analizando la viabilidad técnica y económica.

Se plantea alternativas que consisten en el mejoramiento de: parámetros de ajuste en los ciclos, aislamiento de las cámaras, mantenimiento de válvulas, detección y corrección de fugas de refrigerante. Todas estas propuestas evitan el desperdicio energético y ahorros económicos en la planta.

La evaluación técnica - económica es una herramienta indispensable en este proyecto, pues analizando técnicamente su aplicación y económicamente su factibilidad se garantiza que las propuestas de mejora son válidas y se las puede implantar.

Las conclusiones obtenidas en este estudio, permitirán poner a la luz procesos ineficientes, generar y evaluar acciones correctivas y proponer un plan de acción y monitoreo para dar seguimiento a las propuestas mejora.

CAPÍTULO 1

RESEÑA DE LA PLANTA

El presente capítulo realiza una reseña histórica del grupo corporativo PRONACA. Posteriormente se establece un resumen específicamente de la Planta de elaborados y Embutidos de PRONACA.

Se completa con la descripción física de la Planta, las zonas de interés para este proyecto, posteriormente se indica los productos que se elaboran, sus procesos, y producción.

1.1 ANTECEDENTES DE LA PLANTA

Alrededor del año 1957 se funda INDIA empresa dedicada a la importación y distribución de insumos agropecuarios así como artículos para la industria textil.

El 11 de Junio de 1979 se establece la Procesadora Nacional de Aves, PRONACA en la parroquia de Yaruquí, inicialmente constaba con dieciséis empleados, dos administrativos y catorce operarios.

El año de 1990, la empresa diversifica la producción en cárnicos y otros alimentos e inicia la exportación de palmito en conserva. En esta década también arrancan los proyectos de porcicultura, procesamiento de embutidos y las actividades de acuicultura, con la cría de camarón y tilapia.

En 1999 PRONACA cambia de denominación a Procesadora Nacional de Alimentos C.A.

Actualmente PRONACA es una empresa ecuatoriana, que alimenta bien y genera desarrollo en el sector agropecuario con responsabilidad social y ambiental.

Su experiencia en el Ecuador, le ha permitido extender sus fronteras con actividades productivas y comerciales hacia Brasil, Colombia y Estados Unidos. Desde el 2005, PRONACA se ubica en la posición número dos dentro del ranking general de las diez empresas más respetadas del país y destaca en tres de las cinco subcategorías que cada año realiza la revista Líderes.¹

¹<http://www.pronaca.com>

1.1.1 PLANTA DE ELABORADOS Y EMBUTIDOS

La planta de elaborados y embutidos es un centro de operaciones donde se da valor agregado a la producción de productos cárnicos, esto es, elaboración de embutidos y productos listos para ser consumidos en el mercado.

En 1991 se inicia la construcción de la Planta de Elaborados y Embutidos la misma que entra en operación en 1993.

La planta de Elaborados y Embutidos obtiene certificaciones en sus procesos de elaboración de carnes procesadas, pastas finas, congelados, jamones y horneados bajo normas HACCP. Certificado de mayor prestigio internacional que una empresa de alimentos obtiene en seguridad alimentaria.

En agosto del 2008 la planta obtiene la certificación a su sistema de Gestión de Calidad ISO 22000. Para el mes de julio del 2012 la planta consigue validar la certificación de calidad siendo la primera empresa de embutidos en el país en obtener este logro y la validación de sus procesos a nivel nacional e internacional

1.2 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

La planta de Elaborados y Embutidos de Pronaca se ubica en la ciudad de Quito, en la parroquia de Pifo en el Km. 24 vía al Quinche. (Fig. N° 1.1)



Figura N° 1.1 Planta de elaborados y embutidos de Pronaca, vista satelital

FUENTE [GoogleEarth]

La planta labora las 24 horas del día por lo que, se tiene tres jornadas de trabajo como describe la tabla N° 1.1.

Tabla N°1.1 Turnos de trabajo en la planta

Turnos	Inicio	Fin
1er. Turno	5:00	13:00
2do. Turno	13:00	21:00
3er. Turno	21:00	5:00

1.3 DESCRIPCIÓN FÍSICA DE LA PLANTA

La planta de Elaborados y Embutidos de PRONACA, se encuentra en proceso de ampliación, es por esta razón, que las diferentes zonas y sectores que las componen serán sometidas a variaciones en su área física.

Para el presente proyecto de titulación se considerará los espacios físicos que se encuentren hasta la realización de las mediciones y obtención de datos

respectivamente. La planta está construida principalmente de bloque y cubierta de losa. Los pisos son de concreto y poseen drenajes de recolección para las aguas lluvia.

La planta se halla dividida en trece sectores como indica el anexo C1. Cada uno tiene un código establecido por requerimientos de organización de la planta. La figura N° 1.2 explica la codificación.



Figura N° 1.2 Descripción de la codificación de la planta

En base a la figura N° 1.2 y la tabla N° 1.2 se muestra los diferentes sectores con su codificación.

Tabla N°1.2 Zonas y sectores de la planta ²

Zona	Código	Sector
Administración	AN000000	Administración
Procesos industriales	CN000000	Cámaras de Frío
	DN000000	Despacho
	EN000000	Elaboración
	HN000000	Ahumado
	MN000000	Empaque
	PN000000	Preformados
Casa de máquinas y servicios	SN000000	Casa de Fuerza
	IN000000	Cocina y Comedor
	LN000000	Lavandería
Bodega	BN000000	Bodega
Laboratorio	ON000000	Laboratorio
Taller de mantenimiento	TN000000	Taller

²PRONACA, Departamento de Mantenimiento, 2012

Debido al crecimiento de mercado la planta de Elaborados y Embutidos de Pronaca amplía su capacidad productiva y por lo tanto sus instalaciones; la administración establece una codificación nueva que estandariza todas las plantas filiales a esta corporación. Se ha establecido la siguiente codificación.

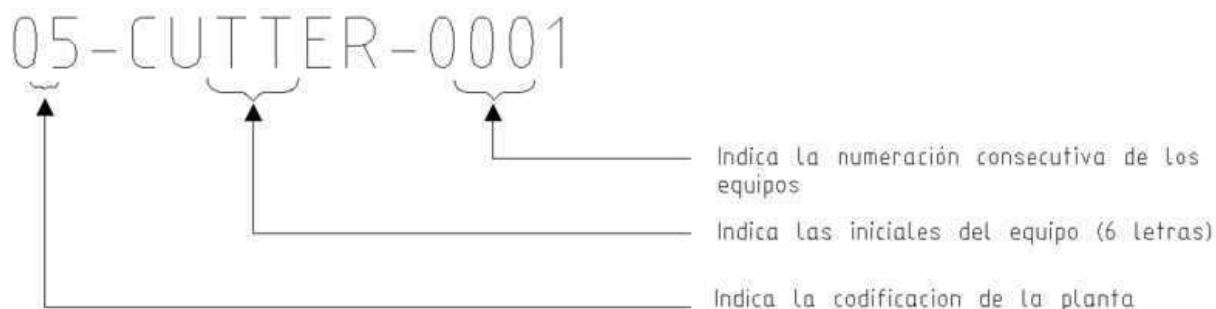


Figura N° 1.3 Descripción de la nueva codificación de la planta

Actualmente las dos formas de codificaciones se utilizan. La primera se utiliza diariamente en la programación del mantenimiento, mientras la codificación más reciente se la ha comenzado a utilizar en los equipos nuevos que han llegado en especial en los sectores de Preformado y Empaque. Por lo tanto, en algunas de las máquinas únicamente se tendrá la codificación reciente

Los sectores de: elaboración, ahumados, preformado (congelados), cámaras, empaque y casa de fuerza, concentran las actividades productivas importantes de la planta de elaborados y embutidos de Pronaca.

Elaboración.- En este sector se realizan las actividades productivas de: embutido, ahumado y reposo. Se han considerado cerca de veinte y dos máquinas además de equipos de refrigeración para acondicionamiento del ambiente, la iluminación se obtiene con lámparas mixtas. La tabla N° 1.3 indica el listado de maquinarias de este sector.

Tabla N°1.3 Máquinas y equipos considerados en el sector de elaboración.³

#	Cód. Antiguo	Cód. Nuevo	Máquinas y equipos
1	ENBM3000	05-BOMROT-0018	Bomba dosificadora de masa
2	ENCL4000	05-CLIPAD-0006	Clipadora poli-clip df
3	ENCO1000	05-CUTTER-0001	Cutter
4	ENDE1000	05-DEFLEC-0001	Defleadora
5	ENDE3000	05-DESMEN-0001	Desmenuzador de carne
6	ENEB1000	05-EMBUTI-0001	Embutidora vemag
7	ENAT2000	05-ATADOR-0002	Atadora -enat2000
8	ENEB3000	05-EMBUTI-0002	Embutidora rt6 plus
9	ENEB7000	05-EMBUTI-0005	Embutidora automatic
10	ENEB6000	05-EMBUTI-0004	Embutidora vemag robot
11	ENEB1000	05-ELECOC-0003	Elevador
12	ENEU2000	05-EMULSO-0001	Emulsor ks
13	ENFA1000	05-ANAGRA-0001	Analizador de grasa
14	ENMH1000	05-AHUMAD-0001	Máquina de humo líquido
15	ENBA7000	05-BALMES-0003	Balanza panthertoledo
16	ENMO2000	05-MOLTOR-0001	Molino angular
17	ENMZ2000	05-MEZCYC-0002	Mezcladora de carne y condimentos
18	ENDE2000	05-DEFLEC-0002	Defleadora #2
19	GTE01000	05-EVAPOR-0022	Evaporador elab 1
20	GTE02000	05-EVAPOR-0024	Evaporador elab 2
21	GTE03000	05-EVAPOR-0026	Evaporador elab 3
22	GTE04000	05-EVAPOR-0019	Evaporador elab 4

Ahumado.- En este sector se realizan actividades productivas como cocción, enfriamiento y acondicionamiento para rebanar. En los últimos meses se amplió el área y se reubicaron algunos de los equipos con el fin instalar nuevos. Aquí se han considerado cerca de dieciocho equipos. Además se presenta el sistema de enfriamiento de las salchichas que salen del proceso de cocción; este sector se encuentra iluminada con lámparas mixtas. La tabla N° 1.4 indica las máquinas y equipos considerados

³ PRONACA, Departamento de Mantenimiento, 2012

Tabla N°1.4 Máquinas y equipos considerados en la zona de ahumados

#	Cód. Antiguo	Cód. Nuevo	Máquinas y equipos
1	HNBS1000	05-DUCHAS-0001	Duchas de agua -hndu1000
2	HNBS2000	05-DUCHAS-0002	Duchas de salmuera -hndu2000
3	HNEN1000	05-CHILLE-0001	Chiller
4	HNFR1000	05-FREIDO-0002	Freidora mezcladora
5	HNGU2000	05-AHUMAD-0002	Generador de humo
6	HNHO1000	05-HORNO0-0001	Horno
7	HNMA1000	05-MARMIT-0001	Marmita
8	HNSP4000	05-PELSAL-0001	Peladora de salchichas -hns4000
9	HNTC1000	05-TECELM-0001	Tecele eléctrico
10	HTAM1000	05-TANQUE-0013	Tanque de amoníaco
11	HTCN1000	05-CONDEN-0004	Unidad de condensación
12	HTCN2000	05-CONDEN-0005	Unidad de condensador
13	HNSP5000	05-PELSAL-0002	Sistema extracción aire
14	HTEO1000	05-EVAPOR-0001	Evaporador de ahum
15	HTEO2000	05-EVAPOR-0018	Evaporador de ahum
16	HTIA1000	05-INYAIR-0001	Unidad de inyección de aire filtrado
17	HTVE1000	05-VENTIL-0001	Ventilador
18	HTVE4000	05-EXTAIR-0006	Extractores

Preformados (Congelados).- Una de las mayores ampliaciones que tenido la planta de elaborados y embutidos de Pronaca es este sector, se constituyó una nueva planta para todos los procesos productivos que antiguamente se realizaba; entre las principales actividades productivas que se tiene en este sector se resaltan las siguientes: moldeo, pre fritura, congelado y empaque. Se han considerado cerca de 49 máquinas y equipos como indica la tabla N° 1.5, El sector tiene sistemas individuales de refrigeración por halocarburos y dos enfriadores rápidos de sistemas centralizados de amoníaco. La iluminación se presenta con lámparas fluorescentes.

Tabla N°1.5 Máquinas y equipos considerados en el sector de preformados

#	Cód. Antiguo	Cód. Nuevo	Máquinas y equipos
1	PNAP1000	05-APLBAT-0002	Aplicador de batido
2	PNCO1000	05-CUTTER-0002	Cuttertecmaq
3	PNCO2000	05-SIECIR-0002	Cortadora de cinta
4	PNEM2000	05-EMPANI-0002	Empanisadora
5	PNEN2000	05-CONGEL-0002	Congelador (unicold)

6	PNEN3000	05-ENFRAP-0002	Enfriador rápido iqftempofrost
7	PNEN4000	05-ENFRAP-0003	Enfriador rápido iqftempofrost
8	PNFO1000	05-FORMAD-0001	Formadora formax f
9	PNFO2000	05-FORMAD-0002	Formadora multiformer
10	PNFR3000	05-FREIDO-0003	Freidora 3
11	PNFR4000	05-FREIDO-0004	Freidora 4
12	PNMZ3000	05-MEZCYC-0004	Mezcladora amasadora
13	PNTRA000	05-TRACAD-0021	Transportador pequeño
14	PNTR6000	05-TRACAD-0019	Transportador banda
15	PNMO2000	05-MOLTOR-0002	Molino autogrind
16	PTEO3000	05-MONELE-0002	Carretilla hidráulica
17	PTEO1000	05-EVAPOR-0020	Evaporador de preformados
18		05-COMREC-0007	Compresor de aire de pistón reciprocanteschulz
19		05-CONDEN-0007	Condensador (torre de enfriamiento)
20		05-ELECOC-0008	Elevador columloader
21		05-EVAPOR-0033	Evaporador bohn cámara de almacenamiento materia prima pequeña
22		05-EVAPOR-0034	Evaporador bohn cámara de almacenamiento materia prima grande
23		05-EVAPOR-0035	Evaporador bohn cuarto de basura
24		05-EVAPOR-0036	Evaporador bohn pasillo recepción materia prima
25		05-EVAPOR-0037	Evaporador bohn sala de empaque #1
26		05-EVAPOR-0038	Evaporador bohn sala de empaque #2
27		05-EVAPOR-0039	Evaporador bohn sala de empaque #3
28		05-EVAPOR-0040	Evaporador bohn producto empacado # 1
29		05-EVAPOR-0041	Evaporador bohn producto empacado # 2
30		05-EVAPOR-0042	Evaporador bohn pasillo de despacho #1
31		05-EVAPOR-0043	Evaporador bohn pasillo de despacho #2
32		05-EVAPOR-0044	Evaporador bohn pasillo de despacho #3
33		05-EVAPOR-0045	Evaporador bohn pasillo de despacho #4
34		05-EVAPOR-0046	Evaporador bohn 4p elaboración inicio izq
35		05-EVAPOR-0047	Evaporador bohn 4p elaboración inicio der
36		05-EVAPOR-0048	Evaporador bohn 4p elaboración medio izq
37		05-EVAPOR-0049	Evaporador bohn 4p elaboración medio der
38		05-EVAPOR-0050	Evaporador bohn 4p elaboración final izq
39		05-EVAPOR-0051	Evaporador bohn 4p elaboración final der
40		05-UNIREF-0001	Unidad de enfriamiento por freón bohn (1)
41		05-UNIREF-0002	Unidad de enfriamiento por freón bohn (2)
42		05-UNIREF-0003	Unidad de enfriamiento por freón bohn (3)
43		05-UNIREF-0004	Unidad de enfriamiento por freón bohn (4)
44		05-UNIREF-0005	Unidad de enfriamiento por freón bohn (5)
45		05-UNIREF-0006	Unidad de enfriamiento por freón bohn (6)
46		05-UNIREF-0007	Unidad de enfriamiento por freón bohn (7)
47		05-UNIREF-0008	Unidad de enfriamiento por freón bohn (8)

48		05-UNIREF-0009	Unidad de enfriamiento por freón bohn (9)
49		05-UNIREF-0010	Unidad de enfriamiento por freón bohn (10)

Cámaras.-El sector presenta las siguientes actividades productivas: refrigeración de la materia prima y productos terminados, masajeo de carnes e inyección de condimentos. Cada cámara posee puertas herméticas para mantener las temperaturas del proceso. Se encuentra iluminado en general con lámparas mixtas. Las tablas N° 1.6 y 1.7 indican cada una de las cámaras así como las máquinas de procesos y equipos de refrigeración que en ellas se encuentran.

Tabla N°1.6 Cámaras en el sector de cámaras

#	Cód. Antiguo	Cód. Nuevo	Cámaras
1	CN00A000	05-CAMCON-0001	Cámara 1
2	CN002000	05-CAMCON-0002	Cámara 2
3	CN003000	05-CAMCON-0003	Cámara 3
4	CN004000	05-CAMCON-0004	Cámara 4
5	CN005000	05-CAMCON-0005	Cámara 5
6	CN006000	05-CAMCON-0006	Cámara 6
7	CN007000	05-CAMCON-0007	Cámara 7
8	CN008000	05-CAMCON-0008	Cámara 8
9	CN009000	05-CAMCON-0009	Cámara 9
10	HN001000		Cámara Ahumado 1
11	HN002000		Cámara Ahumado 2
12	PNEN1000		Cámara de preformados

Tabla N°1.7 Máquinas y equipos considerados en el sector de cámaras

#	Cód. Antiguo	Cód. Nuevo	Máquinas y equipos
1	CNAG1000	05-AGITAD-0001	Agitador #1
2	CNAG2000	05-AGITAD-0002	Agitador #2
3	CNCL1000	05-CLIPAD-0001	Clipadautomaticfibosa
4	CNCL2000	05-CLIPAD-0002	Clipadautomatic
5	CTE11000	05-EVAPOR-0005	Evaporador
6	CTE14000	05-EVAPOR-0006	Evaporador
7	CTE15000	05-EVAPOR-0007	Evaporador
8	CTE17000	05-EVAPOR-0008	Evaporador
9	CTE18000	05-EVAPOR-0009	Evaporador
10	CTE19000	05-EVAPOR-0010	Evaporador

11	CTEO2000	05-EVAPOR-0011	Evaporador
12	CTEO4000	05-EVAPOR-0012	Evaporador
13	CTEO5000	05-EVAPOR-0013	Evaporador
14	CTEO7000	05-EVAPOR-0015	Evaporador
15	CTEO8000	05-EVAPOR-0016	Evaporador
16	CTEO9000	05-EVAPOR-0017	Evaporador
17	CNIN1000	05-INYAJU-0001	Inyectora de agujas
18	CNIN2000	05-INYAJU-0002	Inyectora suhner
19	CNIN3000	05-INYAJU-0003	Inyectora de agujas cfs
20	CNMS1000	05-TUMBLE-0001	Tumblergunther
21	CNMS5000	05-TENDER-0001	Tenderizadorbelam
22	CNMS7000	05-TENDER-0002	Tenderizador
23	CNMS8000	05-TENDER-0003	Tenderizador
24		05-TUMBLE-0006	Masajeadorcozzini vacuum jacketed mixer massager

Empaque.- La actividad productiva de este sector comprende; el rebanado de producto embutido y empaque de productos terminados. Como salchichas, jamones, mortadelas etc. Se consideran diecinueve máquinas que se distribuyen en toda el área; la iluminación se la realiza con lámparas mixtas. La tabla N° 1.8 indica las máquinas y equipos considerados.

Tabla N°1.8 Máquinas y equipos considerados en el sector de empaque

#	Cód. Antiguo	Cód. Nuevo	Máquinas y equipos
1	MNRE7000	05-BALPRE-0003	Basculador de tres posiciones
2	MNEP2000	05-EMPASE-0001	Empacadoras y selladoras al vacío
3	MNEP4000	05-EMPASE-0002	Empacadoras y selladoras al vacío
4	MNEP7000	05-EMPASE-0003	Empacadoras y selladoras al vacío
5	MNEP8000	05-EMPASE-0004	Empacadoras y selladoras al vacío
6	MNEP9000	05-EMPASE-0005	Empacadoras y selladoras al vacío
7	MNEPA000	05-EMPASE-0006	Empacadoras y selladoras al vacío
8		05-EMPASE-0007	Selladora de fundas packrite
9	MNEPB000	05-EMPASE-0008	Empacadoras y selladoras al vacío
10	MTE01000	05-EVAPOR-0023	Evaporador empaque 1
11	MTE02000	05-EVAPOR-0025	Evaporador empaque 2
12	MTE03000	05-EVAPOR-0027	Evaporador empaque 3
13	MNMA1000	05-MARMIT-0007	Marmita termoencogido
14	PNMZ3000	05-MEZSUM-0001	Mezcladora steinnisin
15	MNOZ2000	05-OZONIZ-0002	Ozonizador 2
16	MNRE6000	05-REBANA-0001	Rebanadora

17	MNRE5000	05-REBANA-0002	Rebanadora treif
18	MNRE7000	05-REBANA-0003	Rebanadora weber de tres piezas
19	MNEP3000	05-SELLAD-0001	Selladora rmf

Casa de fuerza.- Este sector sufrió ampliaciones, por lo que, se construyó un área específicamente para la nueva planta de preformados (congelados). El sector se encuentra separado de los procesos industriales y genera la energía necesaria para los procesos productivos de la planta. La iluminación se realiza con lámparas fluorescentes. La tabla N° 1.9 muestra los equipos considerados en este sector.

Tabla N°1.9 Máquinas y equipos considerados en el sector de casa de fuerza

#	Cód. Antiguo	Cód. Nuevo	Máquinas y equipos
1	SNTG2000	05-ABLAGU-0001	Ablandador de agua
2	SSAG2000	05-CISTER-0002	Cisterna
3	SNCM1000	05-COMREC-0001	Compresor recíprocante de 4 pistones nh3
4	SNCM2000	05-COMREC-0002	Compresor recíprocante refrigeración
5	SNCM3000	05-COMREC-0003	Compresor recíprocante refrigeración
6	SNCM4000	05-COMTOR-0001	Compresor tornillo refrigeración nh3
7	SNCM5000	05-COMTOR-0004	Compresor de tornillo
8	SNCM6000	05-COMTOR-0005	Compresor de tornillo
9	SNCN1000	05-CONDEN-0001	Condensador
10	SNCN2000	05-CONDEN-0002	Condensador
11	SNCN3000	05-CONDEN-0003	Condensador
12	SNCN4000	05-CONDEN-0006	Condensador evaporativo
13	SNGE2000	05-GENELE-0001	Generador eléctrico
14	SBCB2000	05-GENTEM-0002	Caldero de aceite fultoncoildesign
15	SBCB3000	05-GENTEM-0003	Caldero de aceite fultoncoildesign
16	SNAM1000	05-INTERC-0001	Intercambiador de calor - interenfriador
17	SNAM2000	05-INTERC-0002	Intercambiador de calor - interenfriador
18	SNAM3000	05-INTERC-0003	Intercambiador de calor - interenfriador
19	SNAM5000	05-INTERC-0004	Intercambiador de calor - interenfriador
20	SNCB1000	05-INTERC-0005	Tanque e intercambiador de calor
21	SNIC1000	05-INTERC-0011	Intercambiador de calor spiraxsarcoeasiheat
22	SNAM4000	05-TANQUE-0004	Recibidor de amoniaco
23	SNCN2000	05-TANQUE-0005	Tanque de purga de nh3
24	SNAM6000	05-TANQUE-0021	Recibidor de líquido
25	SNAM7000	05-TANQUE-0022	Tanque recirculador
26	SNAM8000	05-TANQUE-0023	Tanque economizador # 1
27	SNAM9000	05-TANQUE-0024	Tanque economizador # 2
28	SNTN2000	05-TRANEL-0001	Transformador eléctrico

La planta de elaborados y embutidos de Pronacaen lo concerniente a equipos de refrigeración tienen dos sistemas diferentes: 1) sistema centralizado de amoníaco, 2) sistemas individuales de halocarburos.

El proyecto de titulación analizará el sistema de refrigeración por amoníaco, por ser el de mayor capacidad. El sistema se encuentra en la planta donde se elaboran los productos embutidos.

En lo concerniente a las unidades con halocarburos se realizará el estudio de algunas de las cámaras, para validar si las condiciones de estos espacios son los adecuados y no existe un desperdicio de energía.

1.4 PRODUCTOS

La planta produce cerca de 308 ítems, entre los principales productos se mencionan dos grandes grupos; los embutidos y congelados con sus respectivas subdivisiones. Entre los embutidos se tienen: pastas finas (salchichas, mortadelas, parrillas) y producto de músculo entero (ahumados, jamones, Horneados). En lo que respecta al producto congelado se tienen: producto de costa madero (ceviches) y producto preformado. Las tablas N° 1.10 y 1.11 indican algunos productos que se fabrican en la planta.

Tabla N°1.10 Productos congelados que se elaboran.

Congelados	
Preformados	Costa Madero
Hamburguesa De Pollo	Camarón Ahumado
Hamburguesa De Res	Ceviche Mixt Ca/Pes
Filete Apanado De Pescado	Ceviche Concha
Croqueta De Pescado	Ceviche Pescado
Calamares Apanados	Ceviche Camarón
Patty De Pescado	
Apanado De Pollo Up	
Filete De Pechuga	
Nugget	
Pechuguitas	
Medallones	
Pop Camarones	
Milanesa De Pollo	
Fajitas Pechuga Cocidas	
DinoNuggets	

Tabla N°1.11 Productos embutidos que se elaboran en la planta.

Embutidos					
Pastas Finas			Musculo Entero		
Mortadelas	Parrillas	Salchichas	Ahumados	Jamones	Producto Horneado
Mortadela Extra	Chorizo Parrillero	Salchicha Popular	Tocineta Ahumadas	Jamón Fritz	Lomiton Fritz
Mortadela Rebanada	Longaniza	Salchicha Cocktail	Chuleta Ahumadas.	Jamón Glaseado	Costillas Bbq
Mortadela Extra Taco	Chorizo	Salchicha Ranchera	Topping Tocineta	Jamón De Pierna Pavo	Lomo De Falda De Cerdo
Mortadela Light Pavo	Olma	Salchicha Vienesas	Jamón Ahum.Rebanado	Jamón De Pechuga Pavo	Pierna De Pavo Horneada
Mortadela Bologna	Morcilla	Cocktelitos	Tocineta Ahum. Entera	Jamón De Brazo	Pechuga Deshuesada
Mortadela De Pollo	Chorizo Rebanado	Picaditas	Jamón Ahum. Rebanado	Jamón De Espalda	Pernilito De Pavo
Mortadela Looney Tunes	Chorizo Parrillero	Salchicha Light Pavo		Jamón De Pollo	Fritadita
Mortadela Taco		Salchicha De Pollo		Jamón Looney Tunes	Pernil Rebanado
Mortadela Línea Diaria		Salchicha Hot Dog		Pernil Horneado	
		Salchicha Light Pollo		Jamón Línea Diaria	
		Salchicha Línea Diaria		Jamón Bremen	
				Jamón Cerdo	

1.5 PRODUCCIÓN DE LA PLANTA DE ELABORADOS Y EMBUTIDOS DE PRONACA

La producción de la empresa se centra en la elaboración de dos grandes grupos de productos como son los embutidos y los congelados. La tabla N° 1.12 y figuras N° 1.4, 1.5 ,1.6 muestran las cantidades de producto terminado que se obtienen por mes, se consideran datos de los últimos tres años. ⁴

Tabla N°1.12 Cantidad de producto por mes

Mes	Año	Embutidos (Kg.)	Congelados (Kg.)	Año	Embutidos (Kg.)	Congelados (Kg.)	Año	Embutidos (Kg.)	Congelados (Kg.)
1	2009	351423	41363	2010	427762	53097	2011	500917	67068
2		322095	48038		451123	55513		555344	75286
3		361665	63638		484005	71302		539326	79754
4		341800	45000		465207	61188		673526	85858
5		401714	67232		546553	59146		571046	80797
6		414772	72882		499052	47506		645577	76327
7		426270	66378		533205	49997		734424	105055
8		379557	62745		508710	51360		596079	80224
9		458118	62488		555396	53453		638041	68028
10		449695	67744		544553	60163		747473	92788
11		440817	59782		529292	56181		606989	90459
12		497951	59969		613724	74570		806721	127655
Total		4845876	717257		6158581	693477		7615463	1029299

⁴PRONACA, Departamento de Producción, 2012

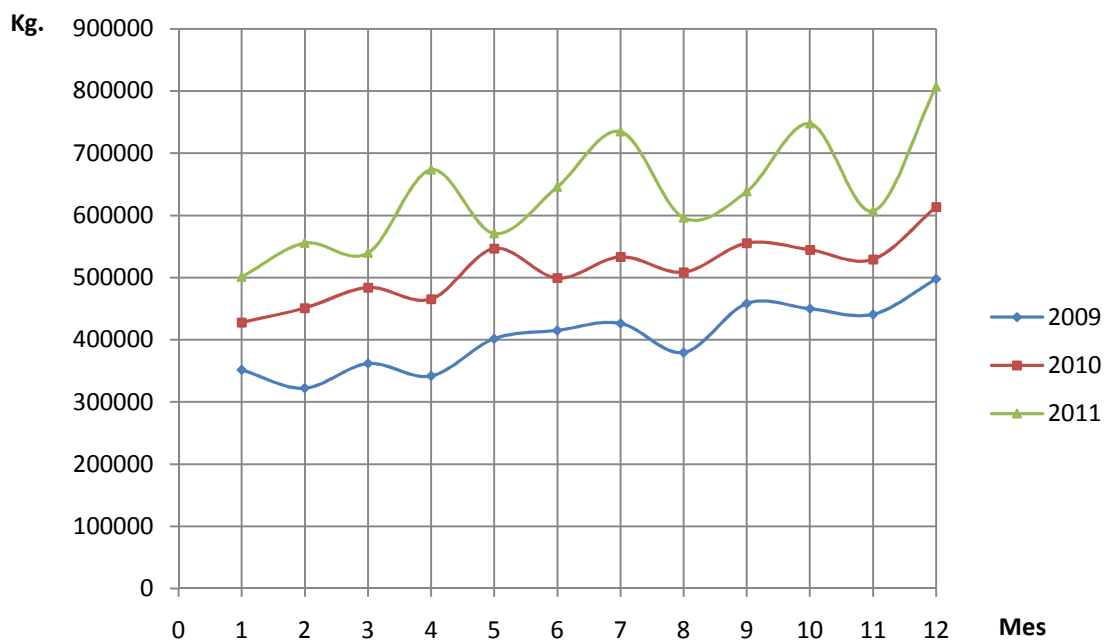


Figura N° 1.4 Curvas de variación de producto embutido

La figura N° 1.4 permite observar que el año 2009 comienza con valores bajos de producción, pero tiene un notable crecimiento en los posteriores. Finalmente en el año 2011 se puede observar que hasta el mes de marzo la curva de producción es suave, luego de éste período se presentan variaciones que oscilan entre distintos valores.

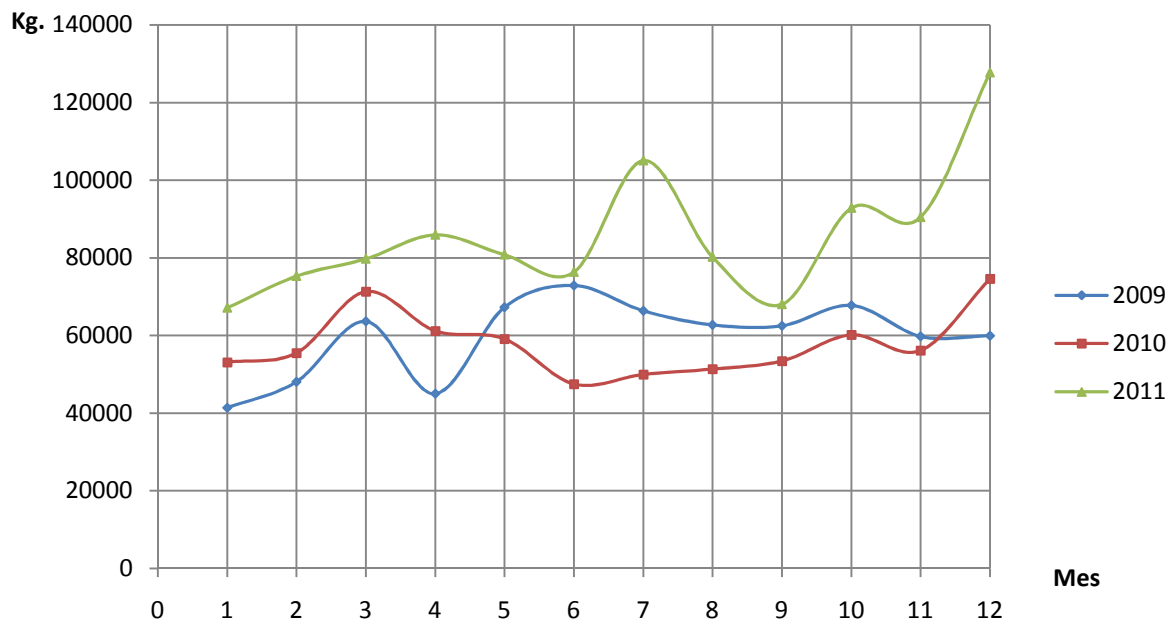


Figura N° 1.5 Curva de variación de producto congelado

El año 2009 permite observar que existe un crecimiento en la cantidad de producción, se tiene en este año un punto de inflexión positivo de alta producción en el mes de junio. En lo relacionado al 2010 la producción cae luego del mes de marzo, se tiene un punto de inflexión negativo cercano al mes de junio. Finalmente para el año 2011 el nivel de producción al inicio ha crecido con respecto a los años anteriores, la tendencia de la curva es suave hasta el mes de abril, luego se tiene variaciones que oscilan.

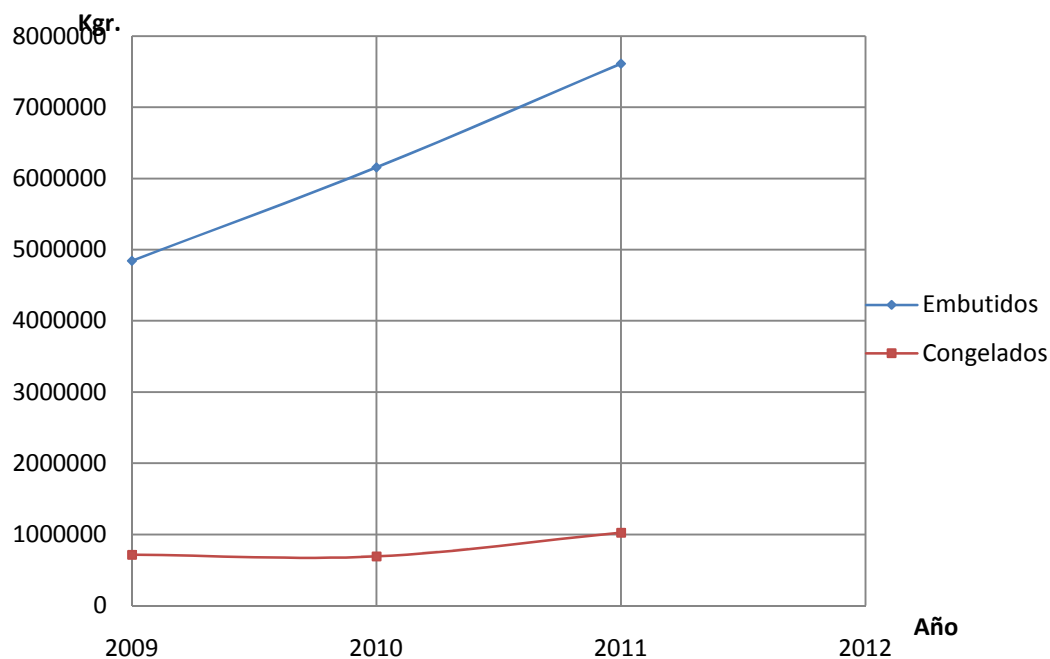


Figura N° 1.6 Curva de variación anual de producto embutido vs. congelado

La figura N° 1.6 establece que la producción de embutidos creció en forma lineal desde el año 2009 con una producción de 4,845.876 Kg, hasta el 2011 con un valor de 7,615.463Kg.

Referente al producto congelado se puede apreciar que la producción es bastante menor en comparación a los embutidos, de tal forma que, la tendencia de crecimiento es baja con un ligero incremento en el año 2011.

CAPÍTULO 2

MARCO REFERENCIAL

En este capítulo se describe el sistema de refrigeración, los procesos termodinámicos de los equipos que involucran: compresión, condensación, subenfriamiento, expansión y evaporación, en los ciclos con amoníaco y halo carbonos, además se indica las especificaciones técnicas de cada uno, para finalizar describiendo los pasos de la auditoría energética.

2.1 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE LA PLANTA DE ELABORADOS Y EMBUTIDOS DE PRONACA

El sistema de refrigeración de la planta se divide en dos: los equipos centralizados de refrigeración con amoníaco y los equipos individuales con halocarbonos, el anexo C3 indica la ubicación de los equipos.

2.1.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA CENTRALIZADO DE REFRIGERACIÓN CON AMONÍACO.

El sistema centralizado de refrigeración por amoníaco data del año de 1993, época que comenzó a funcionar las instalaciones de esta planta.

El sistema trabaja con dos ciclos: el primer ciclo para el acondicionamiento industrial de aire y un ciclo de refrigeración de dos etapas

Se dispone de tres presiones de evaporación: baja, media y alta, funcionamiento, que permite tener tres aplicaciones de temperaturas para los procesos productivos. La tabla N° 2.1 muestra cada uno de ellos.

Tabla N° 2.1 Aplicaciones de temperatura en la planta.

Aplicación	Rango	Sectores involucrados
Temperatura alta	7 a 10° C	Elaboración Empaque Despachos
Temperatura media	0 a 4° C	Cámaras 1, 2, 5, 6, 8, Chiller
Temperatura baja	-15 a -20° C	Cámaras 4,7

2.1.2 EQUIPOS DEL SISTEMA CENTRALIZADO DE REFRIGERACIÓN CON AMONIACO

Los dos ciclos poseen equipos individuales para los procesos de: evaporación, expansión, compresión, subenfriamiento e interenfriamiento en el ciclo de dos etapas. Se exceptúan los equipos del proceso de condensación, ya que los dos condensadores evaporativos SNCN1000, SNCN2000 y el tanque receptor SNAM4000 participan en los dos ciclos. El anexo C2 mediante un diagrama de flujo indica los equipos que intervienen en este ciclo.

La ubicación de los evaporadores junto a las válvulas de expansión coincide con los sectores; mientras que las tuberías de descarga y succión se orientan hacia el sector casa de fuerza.

La casa de fuerza contiene la mayoría de equipos, allí se pueden ubicar compresores recíprocos, vaporizadores (vaporiter), interenfriador (intercooler), condensadores evaporativos y otros accesorios como el receptor y las tuberías. Las tuberías de amoníaco así como los vaporizadores e interenfriadores en el sistema se encuentran cubiertas con material aislante y

selladas con láminas de aluminio de 1 mm de espesor unidas mediante remaches.

El agua empleada en los procesos de condensación y enfriamiento de compresores se trata químicamente para garantizar que la cantidad de sales disueltas sea mínima, este fluido es conocido como agua ablandada.⁵

2.1.2.1 Ciclo de acondicionamiento de aire

El ciclo de acondicionamiento de aire es un proceso que enfría, ventila y recircular aire, controlando el contenido de humedad en la planta de elaborados y embutidos de PRONACA, este ciclo es por compresión de vapor. Los procesos termodinámicos involucrados son condensación, subenfriamiento, expansión, evaporación y compresión. Involucra a tres sectores productivos: embutidos, empaque y despachos. La figura N° 2.1 indica un esquema del funcionamiento de este ciclo y en el anexo A.1 se puede encontrar el diagrama P-h de diseño original realizado por Vilter en el año 1993.⁶

⁵<http://www.ablandadores-agua.com.ar/funcionamiento.html>

⁶ PRONACA, Departamento de Mantenimiento, 2012

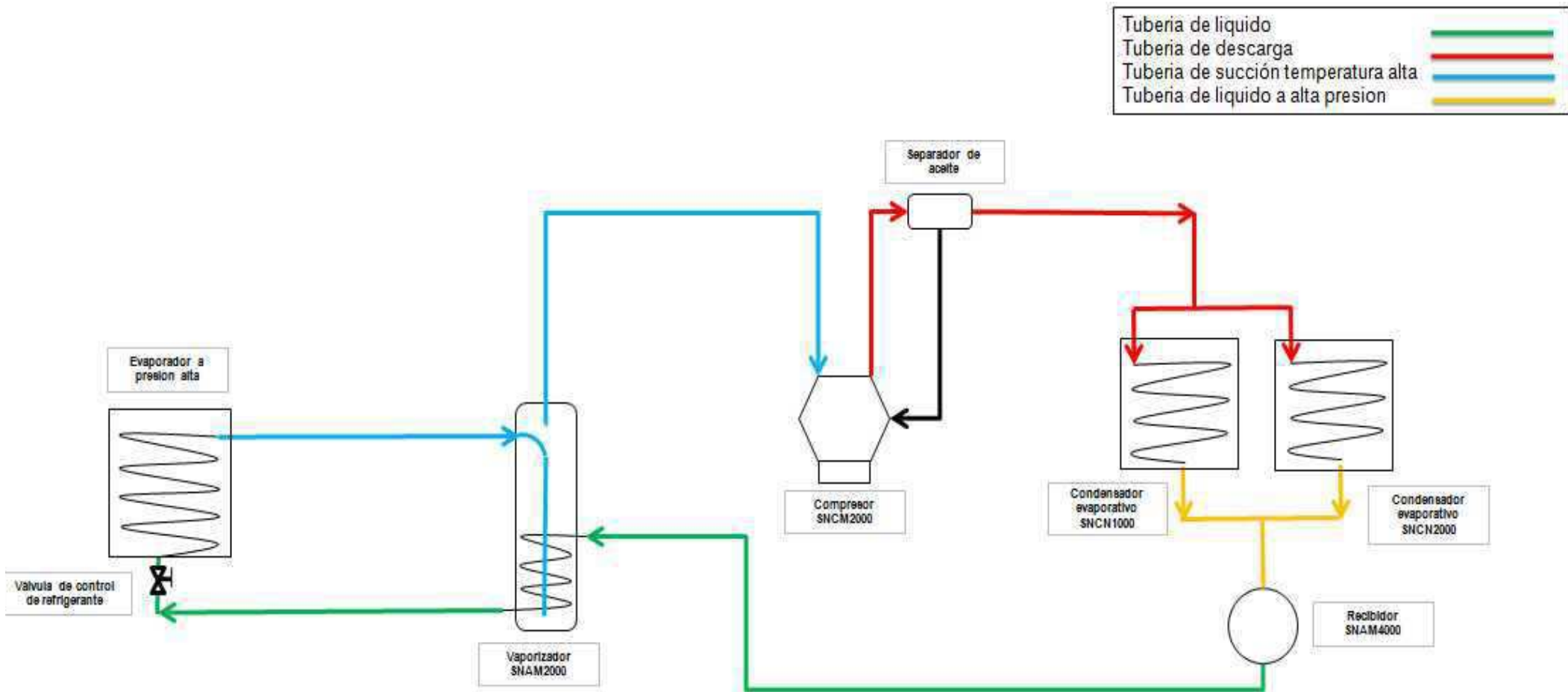


Figura N° 2.1 Esquema del ciclo de acondicionamiento de aire de la planta de elaborados y embutidos de PRONACA.

Fuente [Propia]

2.1.2.1.1 Condensación

Para este proceso se emplean dos condensadores evaporativos el SNCN1000 y SNCN2000, que condensan al refrigerante de los dos ciclos a una sola presión, luego de este proceso el refrigerante se almacena en el recibidor SNAM4000 que es un recipiente a presión de D=20 pulgadas x L=14 pies. La tabla N° 2.2 muestra las características técnicas de estos equipos, los ventiladores y bombas que forman parte.

Tabla N° 2.2 Datos técnicos de los condensadores evaporativos

Datos Técnicos		SNCN1000	SNCN2000
Marca		Vilter	Vilter
Modelo		VPC 180	VPC 60
Capacidad Nominal (toneladas de refrigeración)		127,8	42,6
Dimensiones (pulgadas)		151x85x96	83x85x77
Peso Aproximado (libras)		11400	3900
Ventiladores	Cantidad	4	1
	Potencia total motores (HP)	30	5
	C.F.M	34200	11400
Bomba	Potencia del motor (HP)	2	0.5
	Caudal (G.P.M)	160	54

FUENTE [Catálogo de condensador evaporativos marca VILTER, PRONACA, 1993]

Descripción del funcionamiento de los condensadores evaporativos

El proceso inicia en el serpentín de enfriamiento en el que, en un inicio ingresa refrigerante sobrecalentado proveniente del proceso de compresión, y al pasar por este intercambiador de calor mediante un enfriamiento con agua y aire, éste

se condensa obteniéndose refrigerante líquido que se dirige al receptor. Al inicio del serpentín se ubica un manómetro que muestra la presión a la que entra el refrigerante en este proceso.

El enfriamiento se da por aspersión de agua ablandada, estos difusores se ubica en la parte superior del equipo. El fluido distribuye por toda la superficie externa del serpentín de enfriamiento de arriba hacia abajo, mientras que el aire forzado que se genera por la acción de un ventilador centrífugo ubicado en la parte media, actúa de abajo hacia arriba, eliminando así el vapor de agua que se formó por la transferencia de calor en el serpentín, hacia el exterior en forma ascendente pasando por los eliminadores.

Se tiene un tanque de almacenamiento para el agua ablandada, el cual regula su nivel con una válvula de flotador que permite accionar o desconectar a una bomba centrífuga, que traslada al fluido a los aspersores a presión alta. La figura N° 2.2 indica cada una de las partes mencionadas.

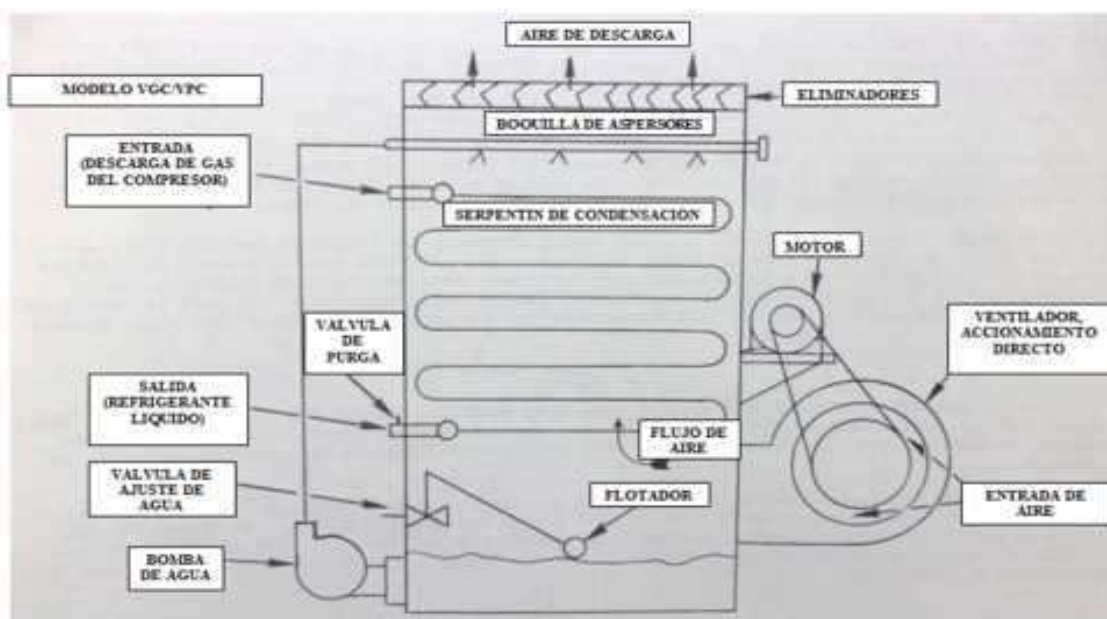


Figura N° 2.2 Esquema de las partes principales de un condensador evaporativo marca VILTER

FUENTE [Catálogo de condensador evaporativos marca VILTER, PRONACA, 1993]

La figura N° 2.3 muestra una gráfica que el fabricante proporciona para seleccionar un modelo de condensador evaporativo y corresponde al factor de capacidad para amoniacovs. Temperatura de bulbo húmedo.

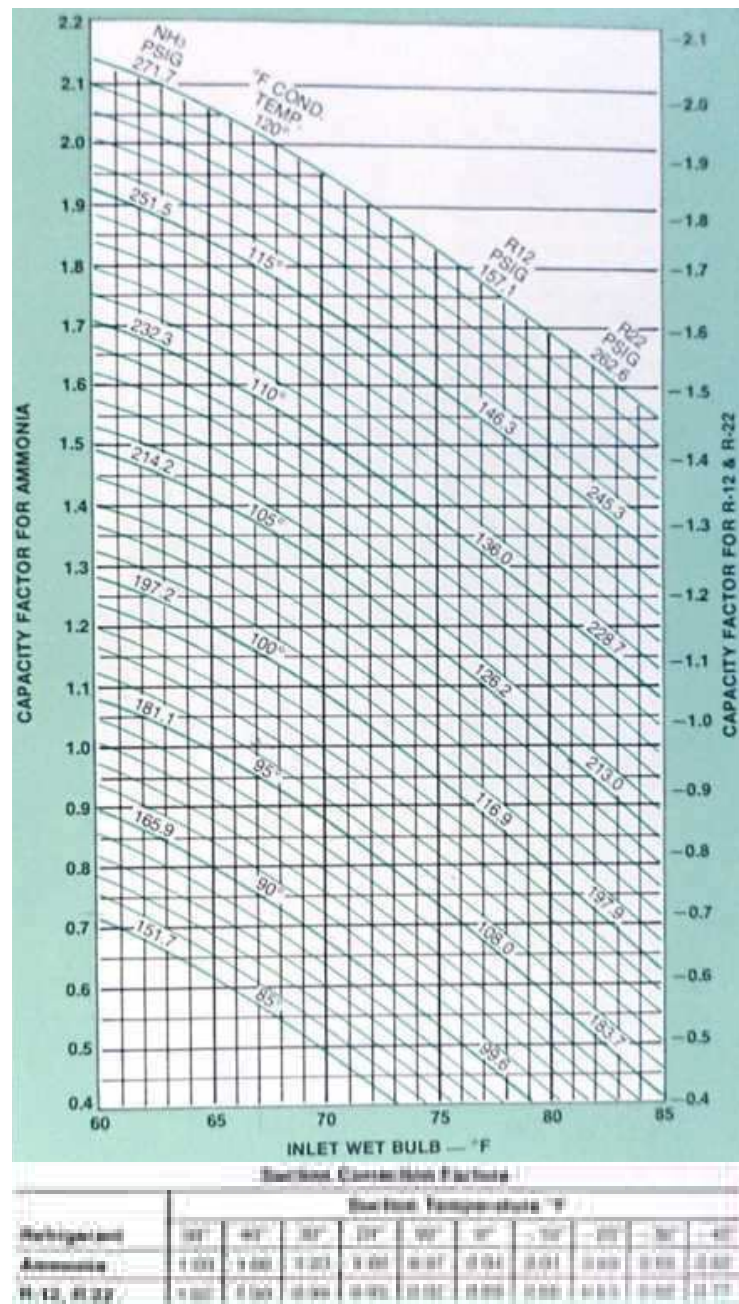


Figura N° 2.3 Gráfica del factor de capacidad para amoniaco vs. temperatura de bulbo húmedo.

FUENTE: Catálogo de condensador evaporativos marca VILTER, PRONACA, 1993

Para seleccionar el tipo de condensador evaporativo con base a la temperatura de condensación, se emplea el valor de la carga del compresor expresada en toneladas de refrigeración y se divide para dos factores el primero corresponde al factor de capacidad del amoniaco relacionado con la temperatura de bulbo

húmedo del aire, y el segundo corresponde a la temperatura de succión que se puede encontrar al pie de este cuadro⁷

2.1.2.1.2 Subenfriamiento

En el ciclo para acondicionamiento del aire industrial, el refrigerante se somete a subenfriamiento antes que llegue a la válvula de control del refrigerante para mejorar el efecto de refrigeración. Para este proceso en la planta se emplea un vaporizador SNAM2000 de 24 pulgada de diámetro exterior cuyo principio de funcionamiento es aprovechar la temperatura baja del refrigerante en la succión para subenfriar al líquido caliente proveniente de la condensación a través de un serpentín. La tabla N° 2.3 indica los datos de placa de este equipo.

Tabla N° 2.3 Datos técnicos del vaporizador

Datos de placa	
Código	SNAM2000
Marca	Vilter
Modelo	39743
Serie	H15537-3
Presión máx. Admisible	250 Psig a 400 ° F
Presión máx. Admisible	-40 °F a 250 Psig
Rango de subenfriamiento	5 °C
Dimensiones	Diámetro= 24pulg
Función	Subenfriador

Fuente [Datos de placa del vaporizador de 24 pulg. PRONACA, 1993]

Descripción del funcionamiento del vaporizador SNAM2000

⁷PRONACA, Catálogo de condensadores evaporativos marca VILTER, 1993

El equipo está conectado entre la salida de los evaporadores y la tubería de succión del compresor recíprocante en donde se maneja vapor, mientras que en el serpentín que se aloja internamente se conecta a la salida del proceso de condensación y a la entrada de las válvulas de control de refrigerante se maneja líquido. Este equipo realiza los procesos de sobrecalentamiento del vapor antes de la compresión y el subenfriamiento del líquido antes del ingreso a las válvulas de control de refrigerante.

De esta manera se garantiza que el calor absorbido y cedido durante la transferencia de calor de los fluidos permanecerá en el sistema. La figura N° 2.4 indica las partes importantes del vaporizador.

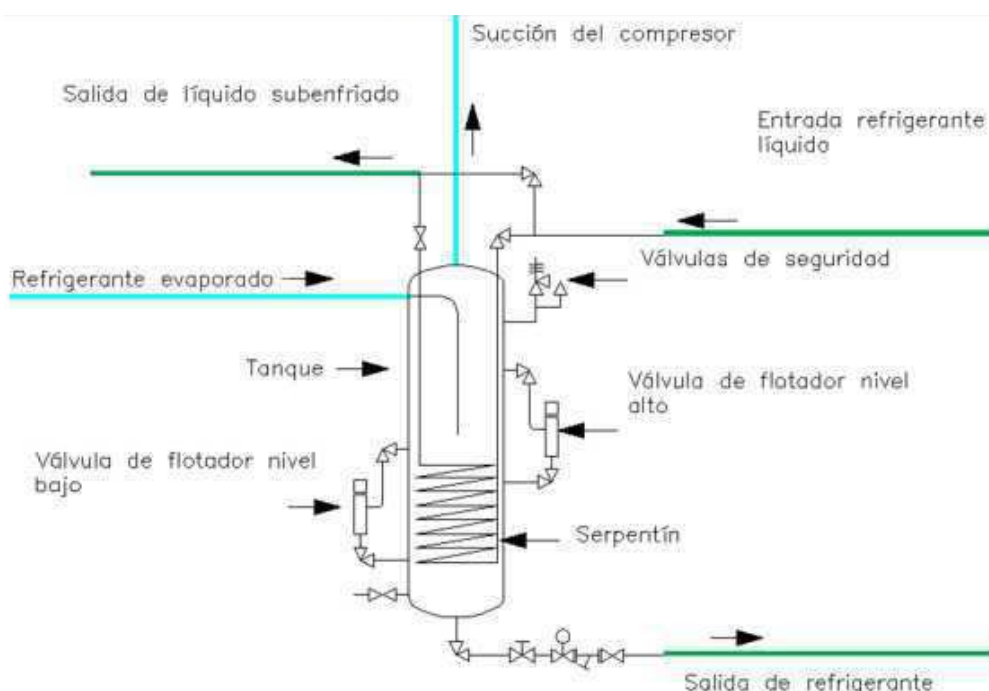


Figura N° 2.4 Partes importantes del vaporizador de 24 pulgadas

FUENTE [Propia]

2.1.2.1.3 Expansión

Posterior al subenfriamiento está el proceso de expansión que se controla el flujo de refrigerante en la planta con tres dispositivos: válvula solenoide, controlador electrónico de temperatura tipo PID y válvula de expansión termostática.

El proceso comienza cuando el líquido subenfriado se dirige hacia el proceso de expansión, pasando primero por una válvula solenoide ON/OFF conectada a un controlador electrónico de temperatura PID, que posee una termocupla tipo K, la cual está instalada en la parte posterior del evaporador con el fin de censar la temperatura a la que se encuentra un sector determinado. A este dispositivo se lo calibra dándole un offset de 0.5°C y un set point que varía entre 7 y 10°C ⁸ según lo requieran los procesos productivos.

Una vez que la sonda del controlador censa la temperatura del set point seteado, la bobina de la válvula solenoide se activa impidiendo así el flujo de refrigerante líquido a la válvula de expansión, si la situación es contraria y la temperatura en el sector está cercana a offset seteado la válvula solenoide desactiva su bobina permitiendo nuevamente el paso del refrigerante.

A continuación actúa la válvula de expansión termostática que cumple dos funciones: 1) medir el refrigerante líquido en la tubería del líquido que va hacia el evaporador proporcional a la capacidad de evaporación, 2) mantener un diferencial de presión entre los lados de alta y baja presión del sistema a fin de permitir la vaporización del refrigerante bajo las condiciones de baja presión deseada en el evaporador y al mismo tiempo efectuar la condensación a la presión alta que se tiene los condensadores evaporativos.⁹

El estado del refrigerante a la salida del evaporador se establece mediante el bulbo sensor instalado en el final del serpentín del evaporador, permitiendo actuar al elemento termostático del que dispone esta válvula, para que regule el flujo de refrigerante en el evaporador. La figura N° 2.5 indica el proceso de este control.

⁸ PRONACA, Departamento de Mantenimiento, 2012

⁹ DOSSAT, Roy, Principios de refrigeración, 1980, pp. 401

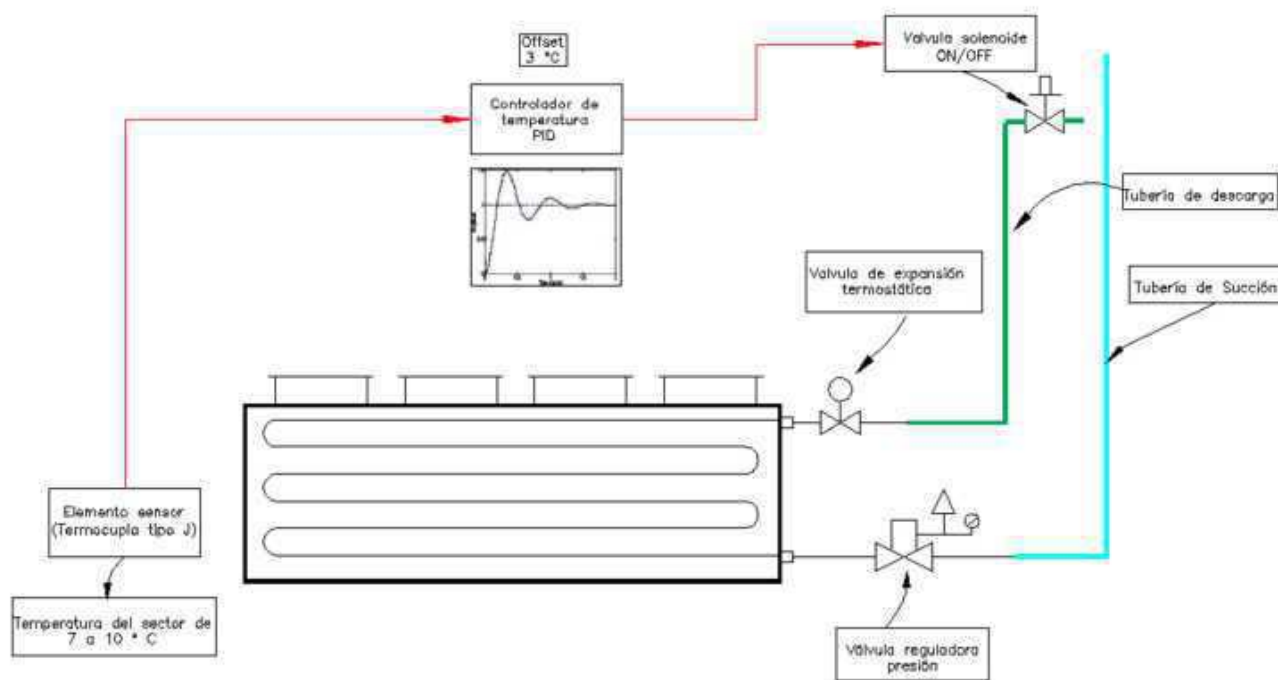


Figura N° 2.5 Control de flujo del refrigerante en el proceso de expansión

FUENTE [Propia]

2.1.2.1.4 Evaporación

En la planta se dispone de evaporadores aleteados de expansión directa, en donde se tiene un serpentín cubierto con placas metálicas o aletas que sirven para aumentar el área superficial de transferencia de calor.

En los sistemas de expansión directa, la mayor parte del flujo másico de refrigerante que abandona el dispositivo de expansión e ingresa al evaporador lo hace en estado líquido; mientras que otra parte menor lo hace en estado de vapor.

Al final de este equipo en la tubería de succión se ubica una válvula reguladora de presión con un manómetro cuyo objetivo es evitar la caída debajo de un valor mínimo predeterminado de la presión así como la temperatura, independientemente de que tan baja sea la presión en la tubería de succión, esta puede tener caída debido a la acción del compresor. En cada sector productivo en donde la temperatura de este ciclo se aplica, existen evaporadores con diferentes capacidades, la tabla N° 2.4 indica las características técnicas de cada equipo.

2.1.2.1.5 *DT del evaporador*

Un factor importante es la DT, que se determina como la diferencia de temperatura entre la temperatura del aire que llega al evaporador, tomada por lo general como la temperatura de diseño del espacio, y la temperatura de saturación del refrigerante correspondiente a la presión del evaporador.¹⁰ Las capacidades de los evaporadores que se dispone en la planta de elaborados y embutidos de PRONACA, dependen de este factor. La tabla N° 2.5 indica valores, recomendados según el fabricante VILTER, correspondientes.

¹⁰DOSSAT, Roy, Principios de refrigeración, 1980, pp. 244

Tabla N° 2.4 Datos técnicos de los evaporadores de expansión directa del ciclo de acondicionamiento de aire

Sector	Código	Temperatura de Servicio Nominal (°C)	Marca	Modelo	Capacidad nominal	Capacidad real *	Dimensiones (IN)	Ventiladores		
					(Btu/ H °F TD)	(Btu/ H °F TD **)		Cant.	Potencia motor (HP)	Flujo de aire (CFM)
Elaboración	GTEO 1000	10	Vilter	UF 20-44-1/4-XA-A	5600	3387	138 X 27 X 29	4	0,25	11000
Elaboración	GTEO 2000	10	Vilter	UF 20-44-1/4-XA-A	5600	3387	139 X 27 X 29	4	0,25	11000
Elaboración	GTEO 3000	10	Vilter	UF 20-44-1/4-XA-A	5600	3387	140 X 27 X 29	4	0,25	11000
Elaboración	GTEO 4000	10	Vilter	UF 20-44-1/4-XA-A	5600	3387	141 X 27 X 29	4	0,25	11000
Empaque	MTEO 1000	10	Vilter	UF 15-44-1/4-XA-A	4200	2540	108 X 27 X 29	3	0,25	8250
Empaque	MTEO 2000	10	Vilter	UF 15-44-1/4-XA-A	4200	2540	109 X 27 X 29	3	0,25	8250
Empaque	MTEO 3000	10	Vilter	LP 10-63-1/3-XA-XA	3900	2359	78 X 40 X 29	2	0,33	7200
Pre despachos	DTEO 1000	10	Vilter	LP 10-63-1/3-XA-XA	3900	2359	78 X 40 X 29	2	0,33	7200

* Esta capacidad es la multiplicación de: Capacidad nominal x factor de corrección por altura para Quito de 0.72 x factor por evaporador de expansión directa (D.X.) de 0.84

** TD es la diferencia de temperatura entre la temperatura del retorno de aire y la temperatura de saturación en la evaporación,

Fuente [Catálogo de Evaporadores marca VILTER, PRONACA 1993]

Tabla N° 2.5 Guía para estimar la carga térmica en varios procesos

Tipo de habitación	Tamaño y consideración	Temperatura de la habitación (° F)	DT de diseño (° F)	Carga aproximada
Enfriamiento Húmedo	Pequeño	30 a 50	8-10	150 ft²/Ton
	Volumen total de 50000 ft³			200-300 ft²/Ton
Enfriamiento seco	Pequeño	20 a 50	10-15	200ft²/Ton
	Volumen total de 50000 ft³			250-350 ft²/Ton
Trabajo y procesos	Trabajo de confort a bajas velocidades de aire	35 a 50	10-20	150 ft²/Ton
Acerar carne de ganado		30 a 35	10	25-30 ft²/Ton
Acerar carne de cerdo		30 a 35	10	30-35 ft²/Ton
Congelamiento	Pequeño	-10 a 0	10-12	200 ft²/Ton
	Volumen total de 50000 ft³			300-500 ft²/Ton
Bancos	Pequeño	35 a 55	10-20	200 ft²/Ton
	Volumen total de 50000 ft³			150 ft²/Ton

FUENTE: Catálogo de evaporadores marca VILTER, PRONACA, 1993

Descripción del funcionamiento de los evaporadores

Los evaporadores poseen ventiladores centrífugos que permiten que el aire circule por cada sector productivo, promoviendo una transferencia de calor por convección. Los equipos de los sectores de elaboración y empaque de modelos UF como se indican en la tabla N° 2.5 poseen los ventiladores ubicados en la parte superior de cada unidad, por lo que, el aire circula de arriba hacia abajo, mientras que los evaporadores del sector de despachos de modelo LP poseen los ventiladores en un lado de la unidad permitiendo que el aire circula del lado posterior hacia el anterior.

Las unidades enfriadoras en general cuentan con las siguientes partes: serpentín aleteado en donde se da la evaporación del refrigerante, ventiladores centrífugos accionados por motores eléctricos, un tablero de mando eléctrico en donde se puede activar o suspender el funcionamiento entre otros accesorios como muestra la figura N° 2.6



Figura N° 2.6 Partes principales de un típico evaporador del sector de elaboración

Fuente [Evaporador de elaboración marca VILTER, PRONACA2012]

2.1.2.1.6 Compresión

La planta de PRONACA dispone de un compresor reciproco SNCM2000 de marca Vilter de cuatro cilindros, accionado con un motor eléctrico de 100 HP mediante transmisión por bandas y poleas. La tabla N° 2.6 indica las características técnicas del compresor y motor eléctrico

Tabla N° 2.6 Datos técnicos del compresor marca Vilter

Datos técnicos	
Código	SNCM2000
Marca	Vilter
Modelo	454 XL
Máximas RPM	1200
CFM @ máximas RPM (m ³ /h)	199(338)
Toneladas(Kcal/h x 10 ³) de refrigeración @ 95 ° F de condensación (Amoniaco 10 ° F)	49 (148)
Peso sin motor eléctrico (kg)	1225
Máxima temperatura de descarga – ° F (°C)	149
Potencia del motor eléctrico (HP)	100

FUENTE [Catálogo de compresores recíprocos marca VILTER, PRONACA, 1993]

Descripción del funcionamiento del compresor

Un compresor reciprocantese compone de block de pistones, cigüeñal, pistones y bastidor, un motor eléctrico acciona a este equipo mediante bandas y poleas, el tablero de control donde se establecen los parámetros de operación, como la presión en la succión y descarga.

Internamente el compresor posee conductos que permiten la circulación de un medio de transferencia de calor (agua ablandada) que reduce al mínimo las conducciones de calor desde el vapor de descarga caliente al vapor de aspiración entrante y al lubricante en el cárter del compresor.

El sistema de lubricación consta de una bomba de desplazamiento positivo para distribuir y recircular el fluido, cárter con un visor de nivel y filtro. Para garantizar las propiedades de lubricación del aceite a temperaturas altas se dispone de un intercambiador de calor para enfriarlo que emplea como fluido refrigerante agua tratada.

Las tuberías de succión y descarga poseen medidores de temperatura y manómetros para presión, además si existiera riesgo de succión de líquido, el tablero de control se halla interconectado a los medidores de nivel del vaporizador SNAM2000 para que se apague el motor eléctrico. La figura N° 2.7 indica las partes importantes del compresor recíproco.

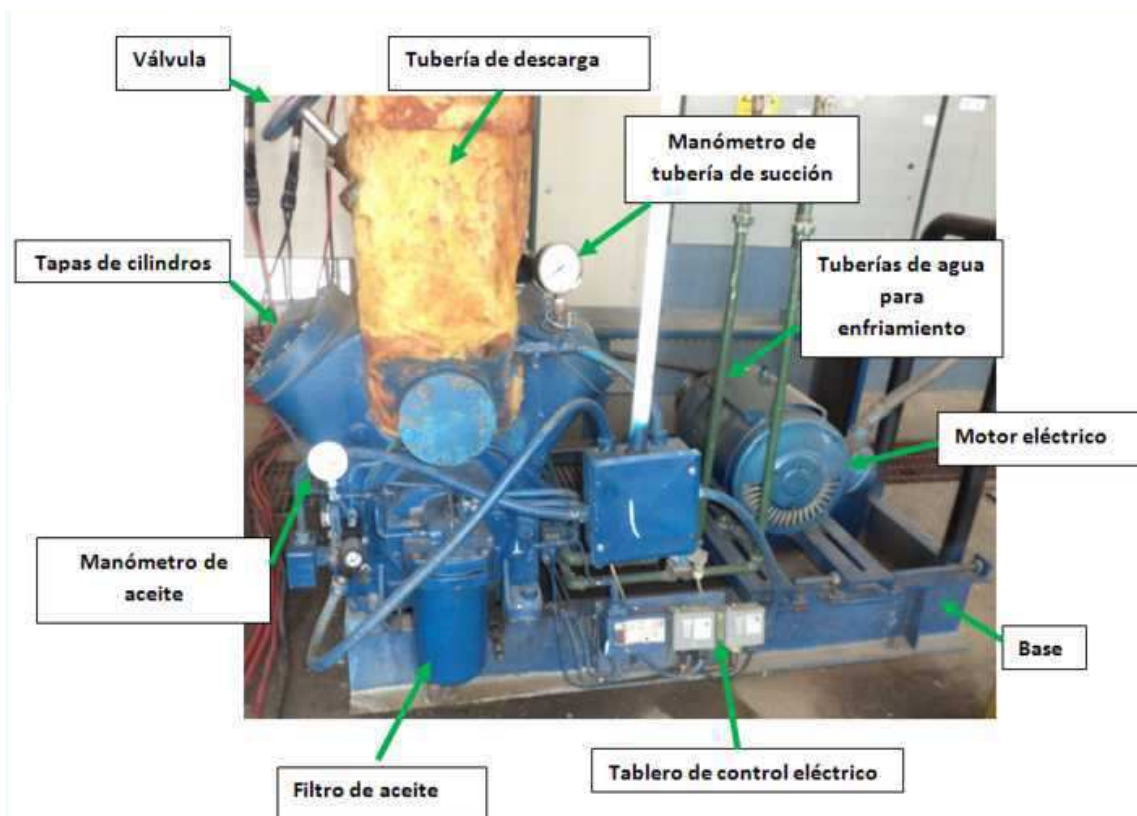


Figura N° 2.7 Partes importantes del compresor de amoníaco marca Vilter

Los parámetros de funcionamiento para el desempeño óptimo del compresor, nos proporcionan a través de gráficos en donde se visualiza los rangos de operación, las figuras N° 2.8 y N° 2.9 muestran las gráficas de parámetros de operación de los compresores Vilter.

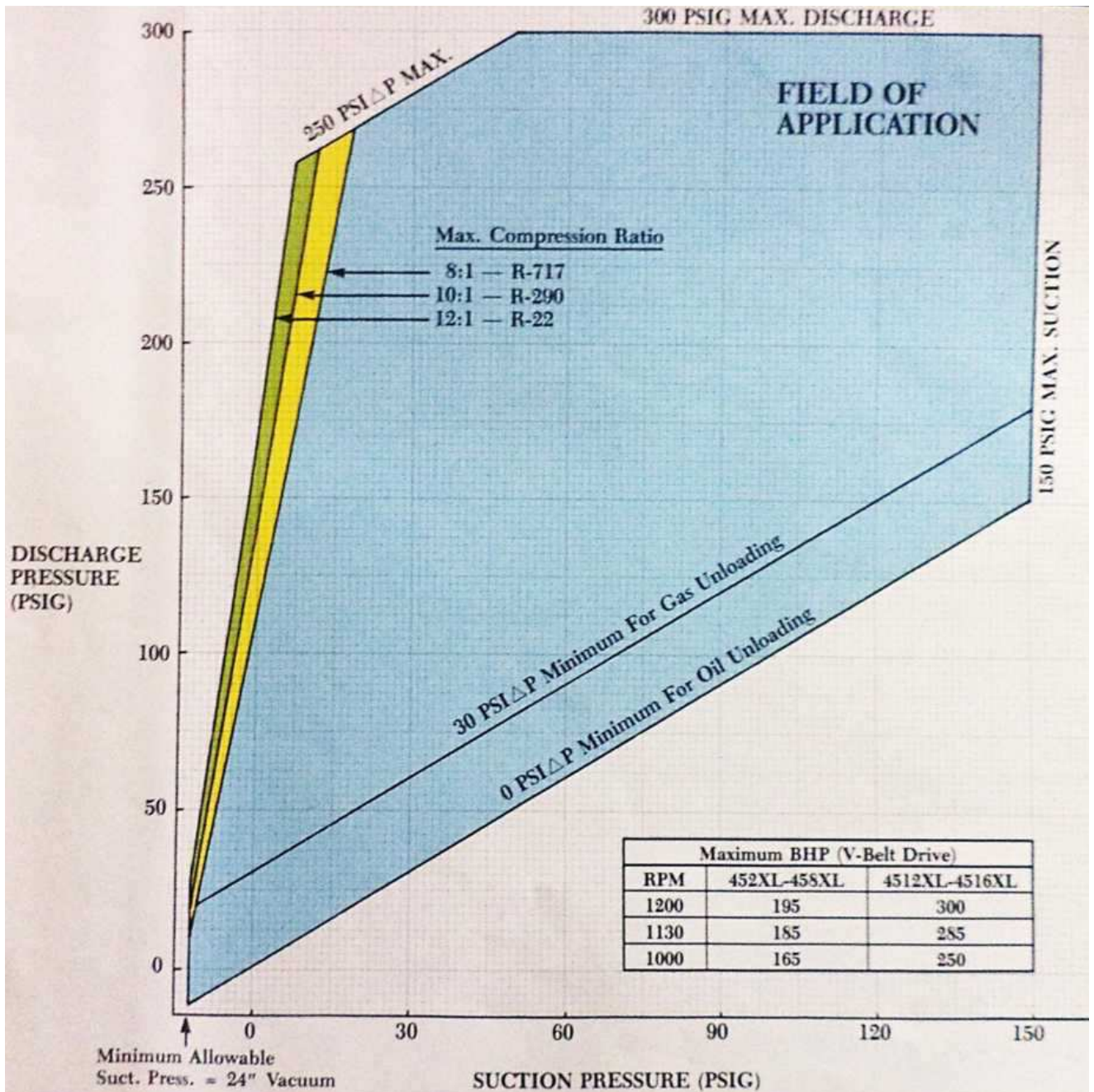


Figura N° 2.8 Gráfica de presión de descarga vs. presión de succión del compresor marca Vilter

FUENTE [Catálogo de compresores recíprocos marca VILTER, PRONACA,

La figura indica el rango de trabajo en el que el compresor marca Vilter puede operar según la recomendación del fabricante, datos válidos para varios modelos.

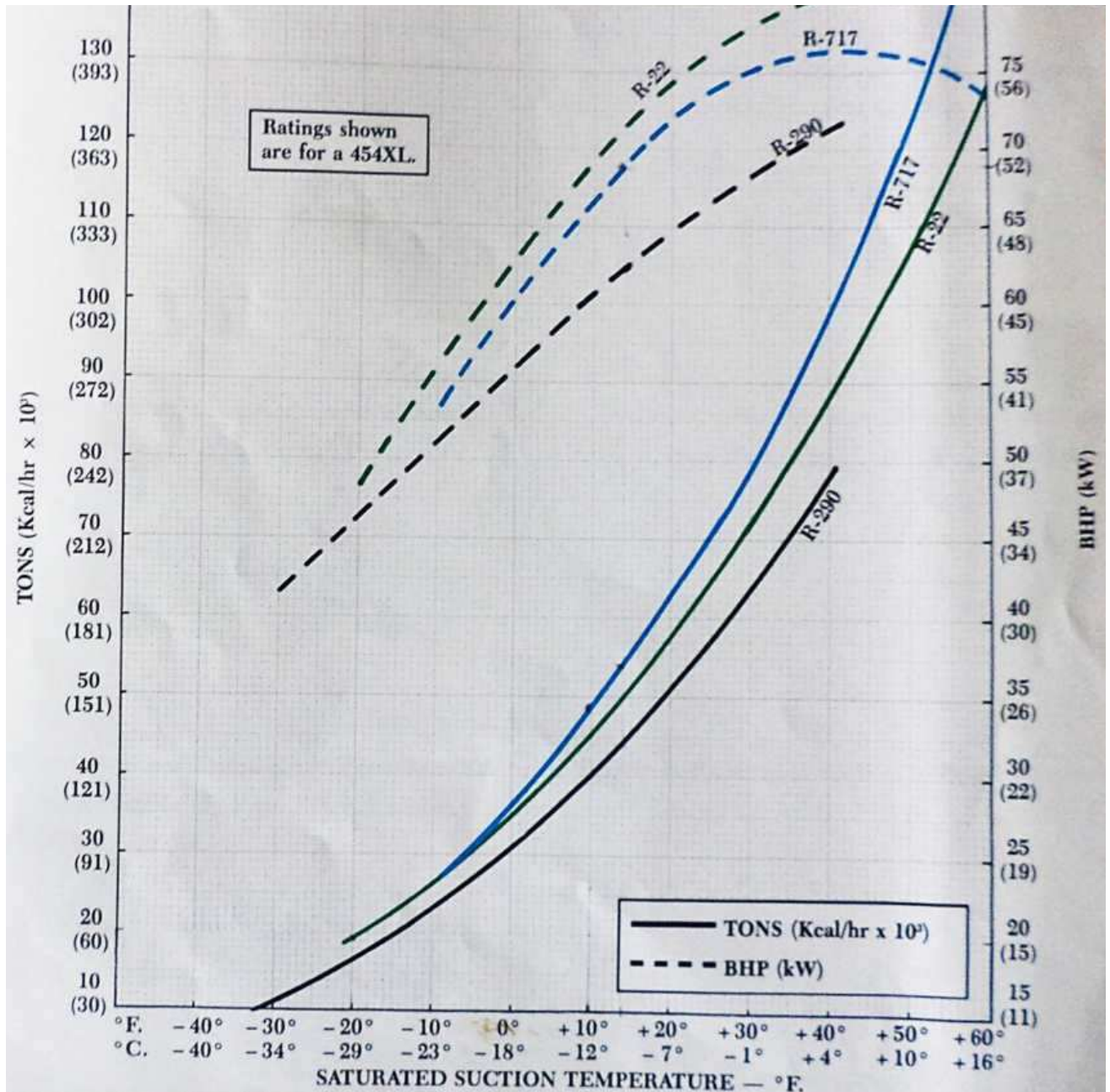


Figura N° 2.9 Gráfica de toneladas de refrigeración vs. temperatura de saturación a la succión del compresor marca Vilter

FUENTE [Catálogo de compresores recíprocos marca VILTER, PRONACA, 1993]

La figura indica la relación que se tiene entre la temperatura de saturación a la succión y la capacidad; estos datos son válidos para todos los modelos de compresores que dispone la planta.

2.1.2.1.7 *Separador de aceite*

El equipo se encuentra en la línea de descarga de cada uno de los compresores su función es disminuir la cantidad de aceite que va hacia el sistema. Una válvula de flotador de presión alta drena el lubricante en el cárter del compresor la longitud de la tubería adicional se puede utilizar para enfriar el gas de descarga antes de que entre en el separador esto reduce la temperatura del vapor de amoníaco y hace que el equipo sea más eficiente.

Amoníaco líquido no debe llegar a la caja del cigüeñal, a menudo una válvula (preferiblemente automática) está instalada en el drenaje de este equipo, se abren solamente cuando la temperatura en la parte inferior es mayor que la temperatura de condensación¹¹, cuenta con un filtro que se encuentra ubicado en la línea de drenaje. En la figura N° 2.10 se aprecia el separador de aceite que se ubica luego del compresor SNCM2000



Figura N° 2.10 Separador de aceite

FUENTE [Propia]

¹¹ASHRAE, Handbook of refrigeration, 1994, pp. 3.6

2.1.2.2 Ciclo de dos etapas

Un sistema de presiones múltiples es un sistema de refrigeración que tiene dos o más presiones bajas. En este ciclo el refrigerante trabaja a tres presiones alta, media y baja; la primera corresponde a la presión de condensación la que es compartida para ambos ciclos. Al tener dos presiones disponibles para el proceso de evaporación las aplicaciones de los rangos temperatura en la planta de elaborados y embutidos de PRONACA, se dan en dos casos: 1) para la refrigeración de materia prima y productos terminados en un rango de 0 a 4 ° C, 2) para el congelamiento de materia prima y productos terminados en un rango de -15 a -20 ° C.

Los sectores productivos involucrados en el primer caso corresponden a las cámaras 2, 5, 6, 8 y el sector de ahumado con el chiller, mientras que en el segundo caso participan las cámaras 4,7 y el sector de embutidos con la máquina de hielo. La figura N° 2.11 establece un esquema del ciclo de refrigeración de dos etapas de la planta de elaborados y embutidos de PRONACA y en el anexo A.2 se presenta el diagrama P-h de diseño de este ciclo realizado por Vilter en el año 1993.¹²

¹² PRONACA, Departamento de mantenimiento, 2012

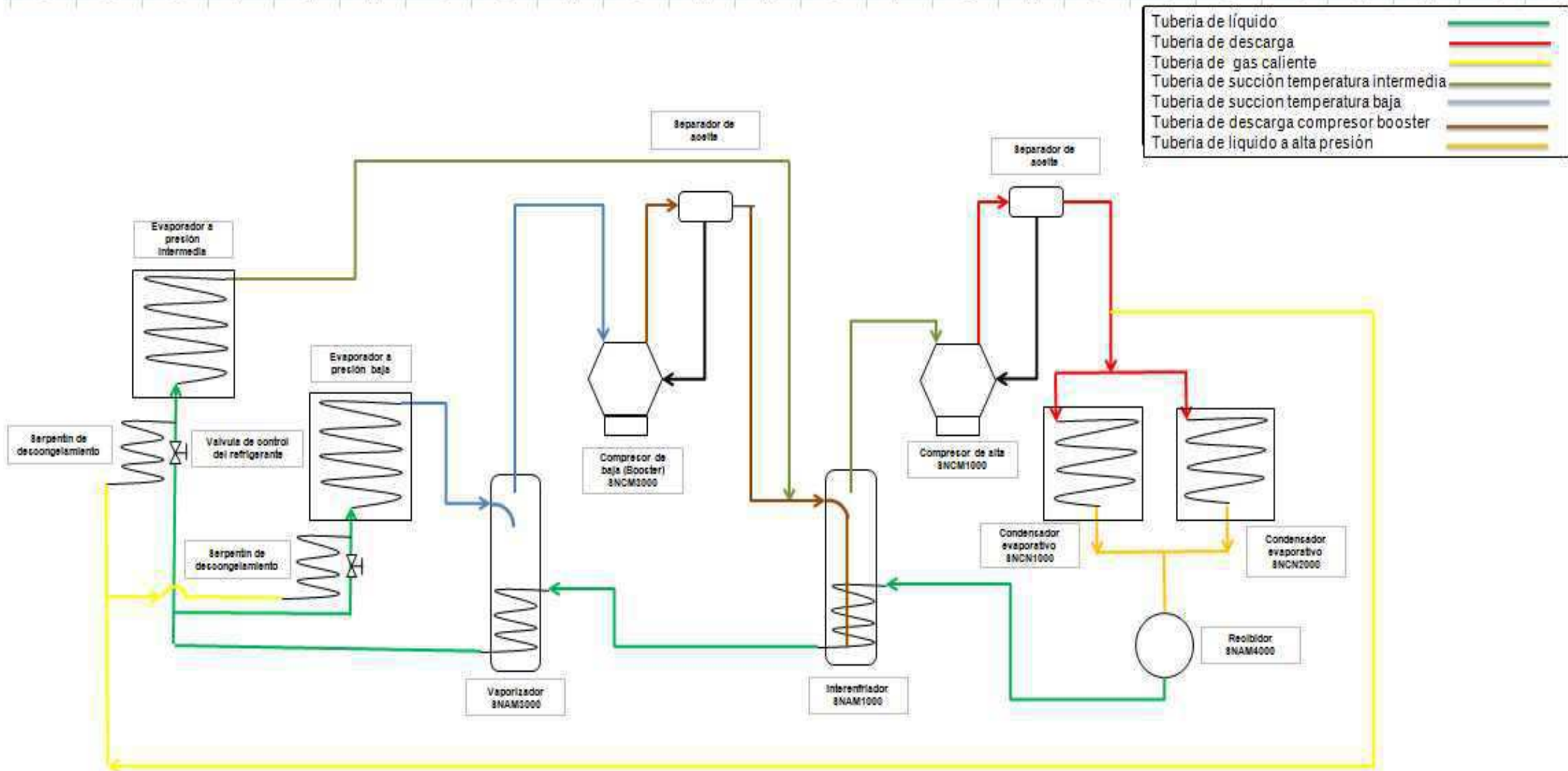


Figura N° 2.11 Esquema del ciclo de refrigeración de dos etapas de la planta de elaborados y embutidos de PRONACA.

Fuente [Propia]

2.1.2.2.1 Condensación

El proceso de condensación se realiza en los condensadores evaporativos de marca Vilter SNCN1000 y SNCN2000 respectivamente, y son compartidos para los dos ciclos.

El estado de vapor sobrecalentado del refrigerante en salida de la segunda etapa de compresión ingresa en el proceso de condensación, al pasar por el serpentín de enfriamiento el vapor se condensa obteniéndose teóricamente líquido saturado a la temperatura de saturación. El refrigerante se almacena en el recipiente de presión o recibidor SNAM4000 y, suministra líquido a presión alta a los equipos correspondientes a cada ciclo.

2.1.2.2.2 Subenfriamiento e Interenfriamiento

El refrigerante líquido a presión alta llega a los equipos del proceso de subenfriamiento que se desarrolla en dos etapas; 1) refrigerante se subenfria desde la temperatura de saturación en el SNAM1000 y posibilita vapor a la succión del compresor de alta y 2) El refrigerante que ha sido subenfriado en el equipo SNAM1000 se subenfria nuevamente. La tabla N° 2.7 indica los datos técnicos de los equipos que actúan en los procesos.

Tabla N° 2.7 Datos técnicos del in de 24 pulgadas

Datos de placa		
Código	SNAM1000	SNAM3000
Marca	Vilter	Vilter
Modelo	39945	39735
Serie	H18782	H15537-2
Presión máx. Admisible	250 Psig a 400 ° F	250 Psig a 400 ° F
Presión máx. Admisible	-40 °F a 250 Psig	-40 °F a 250 Psig
Rango de subenfriamiento	5 °C *	5 °C *
Dimensiones	Diámetro= 24 pulg	Diámetro= 16 pulg
Función	Subenfriador, Interenfriador	Subenfriador

Fuente [Datos de placa del vaporizador de 24 pulg. PRONACA, 1993]

* Desde la temperatura de saturación del líquido se puede bajar 5 ° C para el subenfriamiento

Descripción del funcionamiento del vaporizador SNNAM1000 y del interenfriador SNAM3000.

El vaporizador SNAM3000 además de ser un subenfriador actúa como una trampa de succión antes del compresor de baja presión conocido como *booster*.

Posee válvulas de flotador para regular el líquido en niveles altos y bajos, además de mandos eléctricos ON/OFF para prevenir al compresor booster en caso de que se el nivel de líquido sobrepase lo regulado. La figura N° 2.12 indica las partes importantes del equipo.



Figura N° 2.12 Partes del vaporizador de D= 16 pulgadas marca Vilter.

Fuente [Propia]

El interenfriador SNAM1000 funciona a la vez de tres formas como trampa de succión, como el enfriador intermedio del vapor de succión en la segunda etapa de compresión y como un subenfriador.

La regulación del nivel del líquido se logra empleando válvulas de flotador, controladas con mandos eléctricos (presostatos, termostatos, válvulas

solenoides) que permiten evitar daños en el compresor de alta en el caso de ingresar líquido. La figura N° 2.13 indica las partes importantes.

En el proceso de enfriamiento intermedio del vapor este equipo se halla conectado de tal manera que la tubería de descarga del compresor booster que contiene vapor sobrecalentado a presión alta se conecta a la tubería de succión del compresor de alta, que succiona vapor de los evaporadores que trabajan en la presión intermedia. La salida de la tubería dispuesta en forma "L" invertida donde se mezcla el vapor proveniente de los evaporadores y compresor de baja hace contacto con el líquido a baja temperatura provocando que este burbujee y baje su temperatura obteniéndose así nuevamente vapor a temperatura similar a la del líquido a una presión intermedia que posteriormente succionará el compresor de alta.

Un diseño adecuado del interenfriador, el líquido podrá enfriarse de 10 a 20 grados de la temperatura de saturación correspondiente a la presión intermedia¹³.

¹³DOSSAT, Roy, Principios de refrigeración, 1980, pp. 518

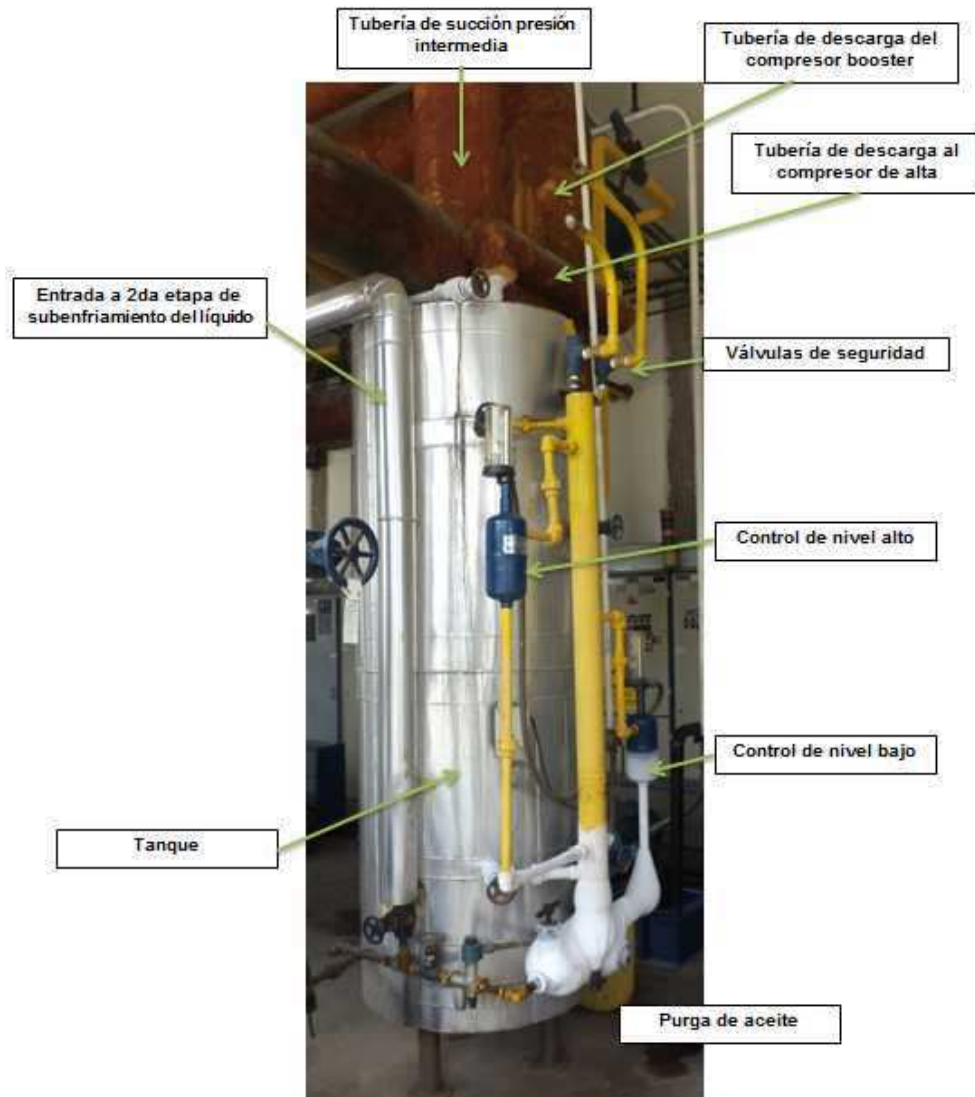


Figura Nº 2.13 Partes importantes del intercooler de D= 24 pulgadas marca Vilter.

Fuente [Propia]

2.1.2.2.3 Expansión

La expansión sucede en válvula de expansión termostática cuando la presión y temperatura del líquido se reduce desde la presión de condensación hasta la presión y temperatura de evaporización a medida que el líquido pasa a través de este dispositivo. La estrangulación se presenta en los dos tipos de evaporadores, los que trabajan a presión intermedia luego de la primera etapa

de subenfriamiento específicamente y los evaporadores que trabajan presión baja luego de haber pasado por las dos etapas de subenfriamiento.

El control de refrigerante líquido en cada uno de los evaporadores es el mismo que el descrito en el proceso de expansión del ciclo de acondicionamiento de aire, a excepción del chiller en la presión intermedia y la máquina de hielo, en la presión baja cuyos sistemas serán descritos en los siguientes apartados.

2.1.2.2.4 Evaporación

El proceso corresponde a la vaporización del refrigerante en los evaporadores que trabajan a presión media y a presión baja.

2.1.2.2.5 Evaporadores que trabajan a presión intermedia

La planta de elaborados y embutidos de PRONACA, tiene los evaporadores a presión intermedia ubicados en los sectores productivos de cámara 2, 5, 6, 8, y el sistema chiller, cuyas temperaturas están en el rango de 0 y 4 °C. Los evaporadores a esta presión son de expansión directa, la excepción se presenta en el chiller donde se tiene un evaporador inundado. La tabla N° 2.8 indica los datos técnicos de los evaporadores considerados en esta presión y la figura N° 2.14 indica un esquema de uno de los modelos que funciona a presión intermedia

Tabla N° 2.8 Datos técnicos de los evaporadores a presión media

Sector	Código	Temp. Servicio (°C)	Marca	Modelo	Capacidad nominal	Capacidad real *	Dimensiones	Ventiladores		
					(Btu/ H °F TD)	(Btu/ H °F TD **)	(IN)	Cant.	Potencia motor (HP)	Flujo de aire (CFM)
Cámaras	CTEO 1000	4	Vilter	LP 5-63-1/3-XA-HGP	1950	1179	48 X 40 X 28	1	0,33	3600
	CTEO 2000	4	Vilter	LP 10-63-1/3-XA-HGP	3900	2359	78 X 40 X 29	2	0,33	7200
	CTEO 5000	6	Vilter	LP 10-64-1/3-XA-HGP	4100	2480	79 X 40 X 29	2	0,33	6800
	CTEO 15000	4	Vilter	LP 15-63-1/3-XA-A	5850	3538	108 x 40 x 29	3	0,33	10800
	CTEO 6000	4	Vilter	LP 10-64-1/3-XA-HGP	4100	2480	79 X 40 X 29	2	0,33	6800
	CTEO 8000	4	Vilter	SC 16-84-1/2-XA-HGP	6880	4161	78 X 40 X 42	2	0,5	6880
	CTEO 18000	4	Vilter	SC 32-83-1/2-XA-HGP	13216	7993	142 X 40 X 42	4	0,5	19840

* Esta capacidad es la multiplicación de: Capacidad nominal x factor de corrección por altura para Quito de 0.72 x factor por evaporador de expansión directa (D.X.) de 0.84

** TD es la diferencia de temperatura entre la temperatura del retorno de aire y la temperatura de saturación en la evaporación,



Figura N° 2.14 Esquema de evaporador modelo LP 5 marca Vilter

Fuente [Catálogo de evaporadores, Vilter, PRONACA, 1993]

Descripción del funcionamiento de los evaporadores que trabajan a presión intermedia

Los equipos poseen ventiladores centrífugos ubicados en la parte posterior de su estructura, de forma que el movimiento de aire se da desde la parte posterior hacia la frontal.

El evaporador de la cámara 1 cuenta con un ventilador, los evaporadores de las cámaras 2, 5 y 8 poseen dos ventiladores, el evaporador de la extensión de la cámara 5 posee tres ventiladores y en la cámara 8 se ubica un evaporador con cuatro ventiladores.

Los evaporadores disponen de un sistema de gas caliente para eliminar la escarcha que se forme.

Cuando el descongelamiento ha sido completado, el ciclo de deshielo se termina por medio del control de tiempo. El sistema de evaporación vuelve a estar en operación normal cerrando la válvula solenoide del gas caliente y conectando los ventiladores del evaporador.

El descongelamiento de los evaporadores es automático a excepción del segundo evaporador de la cámara 5 y el chiller, poseen bandejas recolectoras. La tabla N° 2.9 indica el horario de descongelamiento de cada uno de los evaporadores de la planta.

Tabla N° 2.9 Intervalos de descongelamiento de los evaporadores de la planta de elaborados y embutidos de PRONACA.

		TABLA DE DESCONGELAMIENTO																								SETEO		
CÁMARA	HORA	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	° C	° F
	EVAPORADOR																											
1	CTE01000																										6	42,8
2	CTE02000									■													■				6	42,8
3	CTE03000	DUCHADO																										
4	CTE04000		■													■											-18	-0,4
4	CTE14000									■													■				-18	-0,4
5	CTE05000																										6	42,8
5	CTE15000																										4	39,2
6	CTE06000			■	■						■											■					2	35,6
7	CTE07000												■											■			-18	-0,4
7	CTE17000						■																				-18	-0,4
8	CTE08000					■								■													2	35,6
8	CTE18000														■											■	2	35,6
9	CTE09000																										-17	1,4

Fuente [DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO, PRONACA, 2012]

2.1.2.2.6 Sistema chiller

El sistema enfría el agua, que se emplea para reducir la temperatura de los productos embutidos (alojados en coches) que salen del proceso de cocción desde una temperatura de 90 ° C hasta 70 ° C, con el fin de eliminar los agentes microbianos patógenos.¹⁴

Se dispone de un enfriador baudelot que consiste de una serie de tubos horizontales los cuales están localizados uno abajo del otro y unidos entre sí para formar un circuito de refrigerante. Este evaporador es de tipo inundado por lo que el refrigerante circula por el interior de los tubos mientras el agua a enfriarse fluye como una película delgada sobre el exterior de los mismos.

Con el intercambiador es posible enfriar el agua a una temperatura cercana al punto de congelación sin el peligro de dañar al equipo si ocasionalmente se tuviera congelación en el líquido.¹⁵ La tabla N° 2.10 muestra los datos técnicos de este equipo.

Tabla N° 2.10 Datos técnicos del chiller

DATOS TÉCNICOS	
Código	HNEN1000
Marca	Chester-Jensen
Modelo	B-4-OT-4-32
Serie	9354-P
Capacidad de enfriamiento	80 Toneladas @ 484,48 lts./min
Temperatura final del agua	1 °C
Dimensiones del evaporador (mm)	2286 x 2133,6 x 838,2

Fuente [Catálogo del chiller, PRONACA, 1993]

¹⁴PRONACA, Departamento de Producción, 2012

¹⁵ DOSSAT, Roy, Principios de refrigeración, 1980, pp. 256

Descripción del funcionamiento del sistema chiller

En la estructura del chiller se alojan cuatro evaporadores, posee un tanque reservorio de agua que controla su nivel con válvulas de flotador. Se tiene dos bombas centrífugas: la primera SNSB1000 sirve para la recirculación del agua empleada en el enfriamiento del producto embutido y que es recogida en una piscina contigua al chiller, el fluido se distribuye con aspersores laminarmente ubicados en la parte superior de los evaporadores, se maneja un caudal promedio de 150 lts/min; la segunda bomba SNSB2000 sirve para las duchas, aquí se succiona el agua fría que se dispone en el tanque reservorio, para luego descargarla a presión en las tuberías de las duchas mediante aspersores a los coches de productos embutidos. El agua empleada es re circulada constantemente y se la cambia 2 veces en el día. La figura N° 2.15 muestra las partes principales.



Figura N° 2.15 Partes importantes del sistema chiller

Fuente [Propia]

2.1.2.2.7 Evaporadores de presión baja

Los evaporadores que trabajan a presión baja están distribuidos en las cámaras 4, 7 y la máquina de hielo, con temperaturas que varían entre -15 a -20 según el caso.

Los evaporadores ubicados en las cámaras son de expansión directa, mientras que el de la máquina de hielo es de tipo inundado. La cantidad de ventiladores en cada unidad se presenta de la siguiente manera: los evaporadores de la cámara 4 poseen uno en cada unidad y los evaporadores de la cámara 7 poseen cinco y tres respectivamente.

Poseen un serpentín de descongelamiento con gas caliente así como una bandeja para recoger el agua formada por el deshielo de la escarcha u otros agentes. La tabla N° 2.11 indica los datos técnicos de los equipos y la figura N° 2.16 un esquema de uno de los modelos de presión baja.

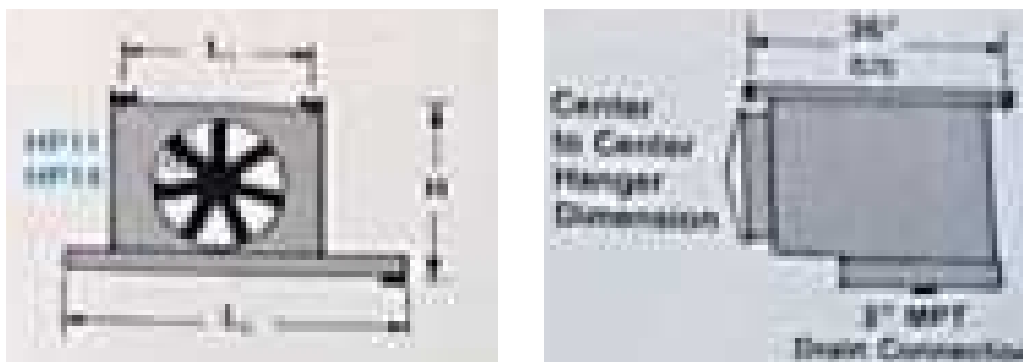


Figura N° 2.16 Esquema de un evaporador modelo HP14 marca Vilter

Fuente [Catálogo de evaporadores, Vilter, PRONACA, 1993]

Tabla N° 2.11 Datos técnicos de evaporadores a presión baja

Sector	Código	Temperatura de servicio (°C)	Marca	Modelo	Capacidad nominal	Capacidad real *	Dimensiones	Ventiladores		
					(Btu/ H °F TD)	(Btu/ H °F TD **)	(IN)	Cant.	Potencia motor (HP)	Flujo de aire (CFM)
Cámaras	CTEO 4000	-18	Vilter	HP 14-63-1-XA-HGP	5200	3145	74 X 40 X 42	1	1,00	9500
	CTEO 14000	-18	Vilter	HP 14-83-1-XA-HGP	6300	3810	74 X 40 X 42	1	1,00	9100
	CTEO 7000	-18	Vilter	LP 25-83-1/3-XA-HGP	11500	6955	168 X 40 X 29	5	0,33	17250
	CTEO 17000	-18	Vilter	LP 15-83-1/3-XA-HGP	6900	4173	108 X 40 X 29	3	0,33	10350

* Esta capacidad es la multiplicación de: Capacidad nominal x factor de corrección por altura para Quito de 0.72 x factor por evaporador de expansión directa (D.X.) de 0.84

** TD es la diferencia de temperatura entre la temperatura del retorno de aire y la temperatura de saturación en la evaporación,

Fuente [Catálogo de evaporadores, Vilter, PRONACA, 2012]

2.1.2.2.8 Máquina de hielo

El equipo con código CNGH1000, produce hielo, a través de un sistema de aspersores que distribuyen agua sobre un evaporador cilíndrico de pared delgada de tipo inundado, el agua se congela en la parte exterior formando una película delgada, que posteriormente se remueve como escarcha de espesor aproximado a 1.5 mm con una herramienta de remoción ubicado en el rotor que gira solidario al evaporador. El hielo formado se evacua a través de una tolva hacia el sector de embutidos; el agua que no se congeló retorna al tanque de recirculación. La tabla N° 2.12 indica los datos técnicos, mientras que en la figura N° 2.17 muestra el principio de funcionamiento para la escarcha de hielo.

Tabla N° 2.12 Datos técnicos de la máquina de hielo

DATOS TÉCNICOS		
Código		CNGH1000
Marca		North Star
Modelo		M10.55.LMC.97
Serie		609
Peso (Kg)		590
Potencia del motor (KW)	Accionamiento	0.25
	Bomba	0.04
Capacidad del refrigerante (TM*)		4.3
Dimensiones (mm)		1143 x 1219 x 813
Requerimientos de agua (°C)		4.4 a 7.2
Espesor de la escarcha (mm)		1.5

- Capacidad de 909 Kg de hielo por 24 horas a -32°C de temperatura de evaporación y agua suministrada a 16°C

Fuente [Catálogo de la máquina de hielo, PRONACA, 1993]



Figura N° 2.17 Principio de funcionamiento para la formación de la escarcha de hielo

Fuente [Catálogo de la máquina de hielo, PRONACA, 1993]

Descripción de funcionamiento de la máquina de hielo

La máquina de hielo cuenta con una pared aislante para evitar flujos de calor que afecten al desempeño del evaporador, además posee dispositivos eléctricos de mando para el control de la máquina y sus partes. La figura N° 2.18 indica las partes importantes de este equipo.

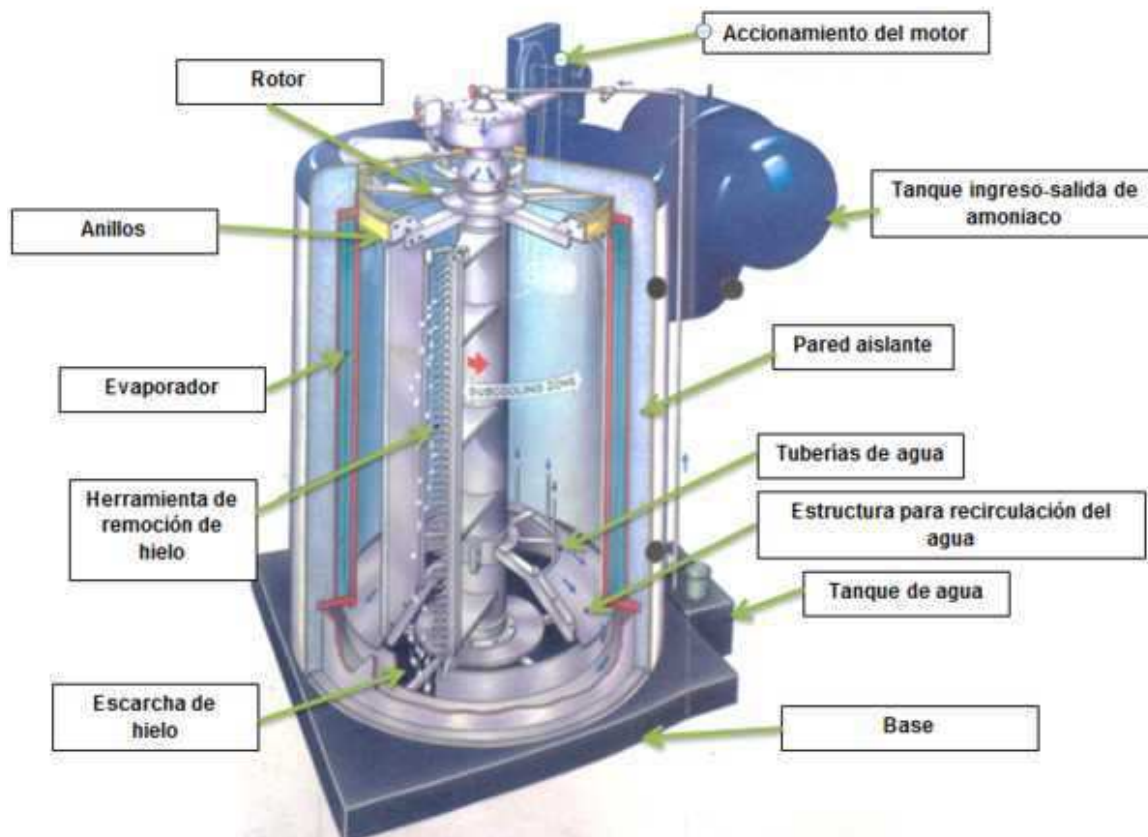


Figura N° 2.18 Partes de una máquina de hielo

Fuente [Propia]

2.1.2.2.9 Compresión

La compresión en dos etapas se da en los compresores recíprocos: SNCM3000 de cuatro cilindros accionado mediante poleas y bandas con un motor eléctrico de 30 Hp, este equipo comprime el refrigerante en la etapa primera es decir, a presión baja normalmente se lo conoce como compresor *booster*.

El compresor SNCM1000 de ocho cilindros es accionado mediante poleas y bandas por un motor eléctrico de 125 Hp y comprime al refrigerante en la segunda etapa a presión alta se lo conoce como compresor de alta. Ambos compresores son de marca Vilter. La tabla N° 2.13 muestra los datos técnicos de estos dos equipos.

Tabla N° 2.13 Datos técnicos de los compresores recíprocos del ciclo de refrigeración de dos etapas

Datos técnicos		
Código	SNCM1000	SNCM3000
Marca	Vilter	Vilter
Modelo	458 XL	454 XL Booster
Máximas RPM	1200	1200
CFM @ máximas RPM (m ³ /h)	398 (676)	199 (338)
Toneladas(Kcal/h x 10 ³) de refrigeración @ 95 ° F de condensación (Amoníaco 10 ° F)	97 (273)	49 (148)
Peso sin motor eléctrico (kg)	3400 (1542)	2700 (1225)
Máxima temperatura de descarga – ° F (°C)	300 (149)	300 (129)
Potencia del motor eléctrico (HP)	100	30

FUENTE [Catálogo de compresores recíprocos marca VILTER, PRONACA, 1993]

Descripción de funcionamiento de los compresores recíprocos de la primera etapa y segunda etapa.

El compresor SNCM1000 es el de mayor capacidad debido a que dispone de 8 cilindros para comprimir al refrigerante, maneja un caudal de 676 m³/h. Está constituido por el block de pistones, cigüeñal, pistones y el bastidor. Para refrigerar a los pistones y cabezotes se dispone de conductos en donde se hace circular agua ablandada con esto se evita el sobrecalentamiento

El sistema de lubricación para las partes móviles está compuesto de una bomba de desplazamiento positivo para distribuir y recircular el lubricante, cárter con un visor de nivel, filtro y medidores de presión, posee un intercambiador de calor para enfriar al aceite, el cual emplea agua tratada.

Los parámetros de funcionamiento del equipo se establecen en el tablero de control, donde se pueden regular las presiones de succión y descarga, el

control de funcionamiento se lo realiza con las válvulas de flotador del interenfriador SNAM1000 de tal forma que este mecanismo apaga al compresor si el nivel de líquido es alto en este recipiente. Se encuentra conectado en la línea de succión al interenfriador SNAM1000 y en la descarga en la tubería que se dirige hacia el condensador

El compresor SNCM3000 de menor capacidad dispone de cuatro cilindros y maneja un caudal de 338 m³/h. al igual que el anterior equipo posee las mismas partes con la única diferencia que este equipo no posee los conductos de enfriamiento para el block de pistones. Se encuentra conectado al vaporizador SNAM3000 en la tubería de succión a la presión baja mientras que la tubería de descarga se conecta a la entrada al interenfriador combinándose en una sola con la tubería de succión de media presión.

La figura N° 2.19 indica las partes más relevantes del compresor SNCM1000. Los parámetros operativos son los que se establecen en las figuras N° 2.8 y N° 2.9.

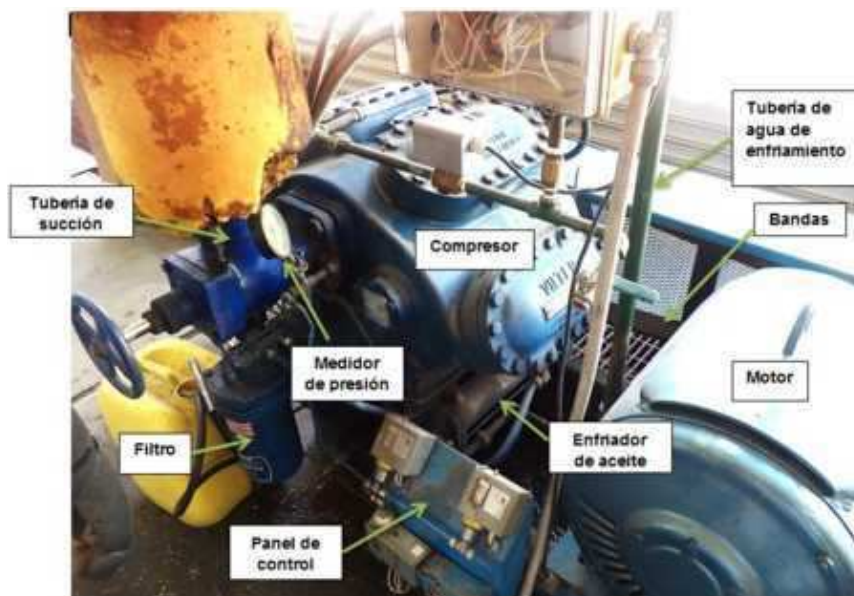


Figura N° 2.19 Partes del compresor de 8 cilindros marca VILTER

Fuente: [Propia]

2.1.3 EQUIPOS DE LOS SISTEMAS INDIVIDUALES CON REFRIGERANTES HALOCARBUIROS

La planta dispone de equipos para completar las cargas térmicas que no pueden cubrir los de amoniaco. Estas unidades emplean como agente refrigerante halocarburos.

Los equipos están distribuidas en la planta en los sectores de: cámaras, ahumados, empaque y despachos; brindando regímenes de temperatura que varían entre $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Los evaporadores se ubican en la parte superior de cada sector mientras que las unidades condensadoras están en el techo de la planta.

2.1.3.1 Descripción de los equipos individuales

El compresor, la tubería de gas caliente, el condensador y el tanque receptor o recibidor, junto con el impulsor del compresor (por lo general un motor eléctrico) son combinados en una unidad condensadora.

Las diferencias con respecto a los equipos que funcionan con amoniaco radican en que las capacidades de refrigeración son menores por lo que su funcionamiento es más sencillo.

Con frecuencia estos equipos se clasifican de acuerdo al medio condensante, por tal razón en el mercado se dispone de dos tipos de unidades enfriadas con aire y otras con agua.

Con respecto a los evaporadores las variaciones de los equipos de amoníaco no son considerables ya que manejan capacidades similares, la única diferencia notoria se presenta en el material de las tuberías que para el amoniaco no pueden ser de cobre o sus aleaciones.

2.1.3.1.1 *Evaporadores y válvulas de expansión*

Los evaporadores están constituidos por un serpentín aleteado, ventiladores centrífugos accionados por motor eléctrico, tablero de mando eléctrico en donde se controla su funcionamiento, resistencias eléctricas para el descongelamiento del serpentín y su respectiva bandeja para el drenaje del agua.

Las válvulas de expansión se ubican en el inicio del serpentín de los evaporadores, unas en el techo junto a las unidades condensadoras y otras en el interior de la planta junto a los evaporadores.

En el proceso de expansión se controla el flujo de refrigerante con tres dispositivos que son: válvula solenoide, válvula de expansión termostática y un controlador electrónico de temperatura tipo PID. En este mando eléctrico se puede establecer las temperaturas requeridas en cada sector productivo. La tabla N° 2.14 muestra las características técnicas de los evaporadores.

2.1.3.1.2 *Descongelamiento por resistencias eléctricas*

Los evaporadores que emplean como refrigerante halocarburos al igual que los de amoniaco al trabajar en temperaturas cercanas a 0 ° C requieren de un descongelamiento en intervalo de tiempos regulares, con esto se garantizan que la transferencia de calor entre el aire circundante y el refrigerante a través del serpentín va a ser la más adecuada.

El descongelamiento de estos equipos se logra a través de resistencia eléctrica que son colocadas en el exterior del serpentín evaporador estos elementos proporcionan el calor suficiente para que la capa de hielo que se formó en el exterior de los tubos se desprenda paulatinamente, las resistencias están constituidas por un alma de fibra de vidrio uniformemente trenzada, sobre el cual se arrolla el hilo resistente. Los intervalos de descongelamiento de algunos de los evaporadores que trabajan en temperaturas cercanas 0 ° C, en los sectores indica la tabla N °2.8, mientras que la figura N° 2.20 establece un típico sistema de descongelamiento por resistencias eléctricas.



Figura N° 2.20 Descongelamiento por resistencias eléctricas en un evaporador marca COPELAND¹⁶.

¹⁶<http://www.coiron.com.ar/productos.php>

Tabla N° 2.14 Datos técnicos de los evaporadores y unidades condensadoras con refrigerante halocarburo

#	Código	Temperatura de servicio (°C)	Marca	Modelo	EVAPORADOR						UNIDAD CONDENSADORA	
					Capacidad BTU/H (10 °F TD)		Dimensiones (in)	Ventiladores			Marca	Modelo
					Nominal	Real		Cant.	Potencia del motor (HP)	Flujo de aire (CFM)		
1	CTE0 9000	-18	Russel	ITE 54 -380	39000	28080	99,5 x 24 x 17,5	5	0,13	5000	Russell	DC15L52
2	CTE1 9000	-18	Russel	ITE 54 -380	39000	28080	99,5 x 24 x 17,5	5	0,13	5000		
3	HN00 1000	2	Bohn	BME 390-DA	39000	28080	96 x 23 x 24	3	0,25	6750	Larkin - Copeland	2DL3-075E-TFD-200
4	HN00 2000	4	Bohn	BME 390-DA	39000	28080	97 x 23 x 24	3	0,25	6750	Larkin - Copeland	2DL3-075E-TFD-200
5	PNEN 1000	-2	Bohn	ADT 208-BJ	20800	14976	77,5 x 15 x 16	4	0,07	2800	Maneurop	MTZ36JG1AVE
6	CTE1 1000	4	S/N	S/N	29880	21513,6	S/N	2	S/N	S/N	Refryacor - Copeland	2DA3 0600-TFC-200
7	CTEO A000	-13	S/N	S/N	40950	29484	S/N	2	S/N	S/N	Refryacor - Copeland	3DB3A 0750-TFC-200
8	FA - EV033	2	Larkin	MLT-6310 BA	31000	22320	97,3 x 23,25 x 22,75	3	0,25	6345	Larkin	LDI0800H2C
9	FA - EV034	2	Larkin	MLT-6310 BA	31000	22320	97,3 x 23,25 x 22,75	3	0,25	6345		

Fuente [PRONACA, Catálogo de Unidades condensadoras, 2012]

2.1.3.1.3 Unidades condensadoras

Las unidades condensadoras están constituidas por dos procesos, la compresión a cargo de un compresor rotatorio hermético o semihermético (según la unidad) y la condensación por medio de un radiador y ventilador centrífugo que emplea como medio refrigerante aire. Existen otros accesorios como el recibidor, las tuberías de succión y descarga, ubicados en una sola estructura, la figura N° 2.21 establece las partes de una de las unidades condensadoras disponibles en la planta.

La planta de elaborados y embutidos de PRONACA dispone de siete unidades de las cuales dos dan abasto a dos evaporadores en cada unidad, mientras que las restantes abastecen a un solo evaporador. La tabla N° 2.15 indica las características técnicas de las unidades.

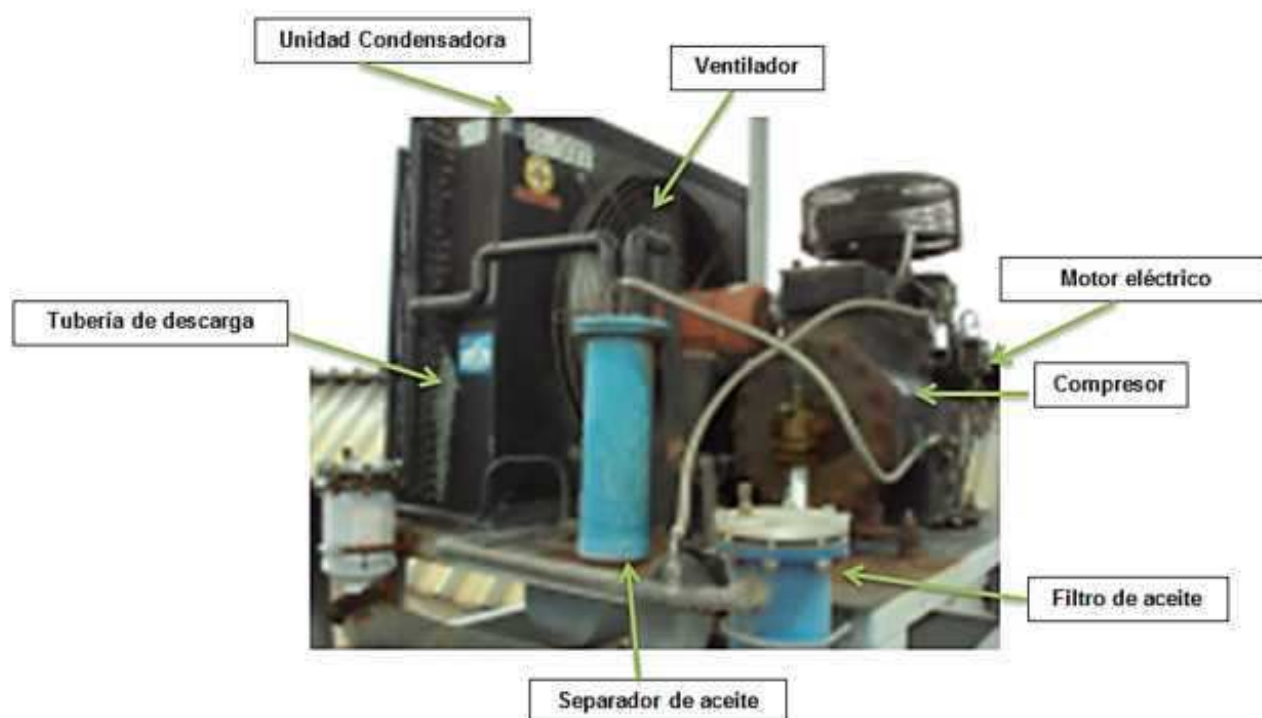


Figura N° 2.21 Partes principales de una unidad individual de refrigeración marca Copeland.

Tabla N° 2.15 Datos técnicos de compresores con refrigerante halocarburo

COMPRESOR								
# Evaporador	Marca	Modelo	Refrigerante	Potencia nominal	Capacidad	Tuberías del refrigerante (in)		Peso aprox. (Lbs.)
				HP		(BTU/H)	Descarga	
1	Russell	DC15L52	502	15	83500 @ -13°F SST @ 95°F T.amb.	5/8	1 5/8	1310
2								
3	Copeland	2DL3-075E-TFD-200	507	6,5	60040 @ 23°F SST @ 120°F COND.	7/8	1 3/8	325
4	Copeland	2DL3-075E-TFD-200	507	6,5	65000 @ 27°F SST @ 120°F COND.	7/8	1 3/8	325
5	Maneurop	MTZ36JG1AVE	507	3	23200 @ 45°F SST @ 130°F COND.	1	1 ¼	55
6	Copeland	2DA3 0600-TFC-200	22	4	33200 @ -10°F SST @ 95°F T.amb.	7/8	1 3/8	325
7	Copeland	3DB3A 0750-TFC-200	507	5,5	45500 @ -5°F SST @ 120°F COND.	1 1/8	1 3/8	385
8	Copeland	3DA3R10ME	22	8	116590 @ 40°F SST @ 90°F T.amb.	1 1/8	1 3/8	385
9								

Fuente [PRONACA, Catálogo de Unidades condensadoras, 2012]

2.2 AUDITORÍA ENERGÉTICA

2.2.1 DEFINICIÓN DE AUDITORÍA ENERGÉTICA

El objetivo de la auditoría energética es promover la eficiencia y eficacia del empleo de la energía; trata de un análisis de posibles mejoras y su cuantificación aplicando la primera y segunda ley de la termodinámica, y adicionalmente certificar las cuentas energéticas de la planta con el empleo de conceptos financieros.

La auditoría energética es por lo tanto una inspección, estudio y análisis de los flujos de energía en un, proceso o sistema, se lleva a cabo para buscar oportunidades para reducir la cantidad de energía de entrada en el sistema sin afectar negativamente la salida. La figura N° 2.22 muestra un esquema de esta definición.

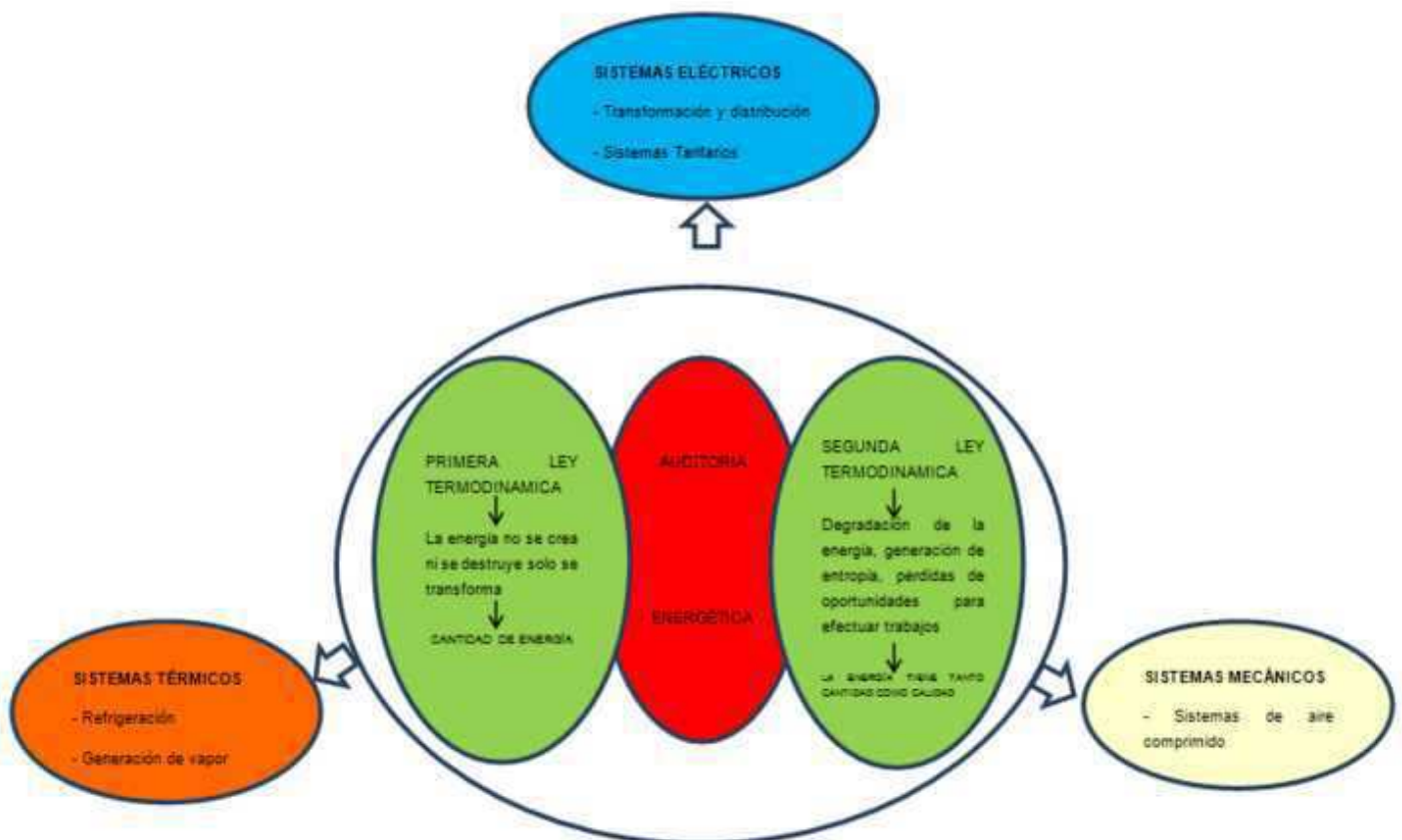


Figura N° 2.22 Sistemas donde se puede realizar una auditoría energética

2.2.2 PASOS PARA UNA AUDITORÍA ENERGÉTICA

- a) Contacto; Empresa – Consultor
- b) Visita a las instalaciones
 - b.1) Identificación general de la empresa
 - b.2) Descripción de los procesos productivos
 - b.3) Fuentes de suministro de energía
- c) Análisis detallado de la utilización de la energía en la empresa
 - c.1) Descripción y características de cada equipo
 - c.2) Energía utilizada en el producto
- d) Determinación de la instrumentación a emplear y de los sistemas de medida
- e) Realización de balances
- f) Informe técnico – económico
 - f.1) Evaluación de operaciones básicas y centros productivos
 - f.2) Determinación de mejoras
 - f.3) Ahorro energético
 - f.4) Ahorro económico
- g) Conclusiones y recomendaciones

2.2.3 CLASES DE AUDITORÍAS

2.2.3.1 Auditoría preliminar

Una auditoría energética preliminar se averigua cómo se compra la energía, dónde se la utiliza, con que eficacia, puntos críticos en cuanto a consumo, malas prácticas, etc. Y tiene como función principal la de determinar las propuestas de ahorro energético sin inversión.

2.2.3.2 Auditoría Energética Detallada

Este tipo de auditoría se fundamenta en la primera ley de la termodinámica (principio de conservación de la cantidad de energía) y segunda ley (la energía tiene tanto cantidad como calidad).

La auditoría permite conocer en que se utiliza la energía consumida. Además de estudiar técnicamente el sistema, debe analizarse la económica, determinando inversiones, beneficios, costos y períodos de recuperación. Es decir, emitir recomendaciones técnicas rentables para mejorar la eficiencia de los equipos auditados.

CAPÍTULO 3

AUDITORÍA ENERGÉTICA PRELIMINAR

3.1 ANTECEDENTES

La energía es un rubro importante para la planta por lo que se analizan en los aspectos de planificación, dirección y seguimiento. El ahorro de energía podría dar como consecuencia aumento de utilidades, precios más competitivos, mayor disponibilidad de recursos etc.

La auditoría consiste básicamente en el análisis de la situación energética de la planta a lo largo de un período de tiempo con el fin de determinar cómo y dónde se utiliza la energía.

Los principales tipos de energías y recursos que se utilizan en la planta de elaborados y embutidos de Pronaca son: energía eléctrica, diésel, fuel oil; rubros importantes que si se implementaría cambios para reducir el uso de estos, representaría una alta cantidad de ahorro económico.

3.1.1 DISPONIBILIDAD DE LA ENERGÍA

Las tablas N° 3.1 y 3.2 establecen los tipos de energía que se utilizan en la planta, sus tarifas y cantidad consumida durante el año 2011.

Tabla N° 3.1 Tipos de energía disponibles en la planta

Energía	Combustibles
Energía Eléctrica	Diesel
	Bunker
	GLP

Tabla N° 3.2 Consumos de los tipos de energía disponibles en la planta de elaborados y embutidos de PRONACA

Tipo	2011							
	Energía eléctrica		Diesel		Fuel Oil		G.L.P.	
Meses	KW-h	0.081 (USD/KW)	Gal	1.04 (c/Gal)	Gal	0.79 (c/Gal)	GLP (Kg)	1.13 (Kg)
Enero	276,104.40	21,247.79	1,700.00	1,761.20	7,500.00	5,989.50	1,227.37	1,390.12
Febrero	298,536.00	22,454.05	1,190.00	1,232.84	7,500.00	5,989.50	1,189.80	1,347.57
Marzo	332,322.00	23,346.43	510.00	528.36	9,500.00	7,586.70	1,539.86	1,744.05
Abril	319,585.20	22,261.60	550.00	569.80	9,400.00	7,506.84	1,269.88	1,438.27
Mayo	215,891.19	23,618.17	650.00	673.40	12,200.00	9,742.92	1,441.35	1,632.48
Junio	320,361.60	23,798.98	900.00	932.40	9,600.00	7,666.56	1,303.16	1,475.95
Julio	335,805.00	24,997.58	1,020.00	1,056.72	11,406.00	9,108.83	1,606.91	1,819.99
Agosto	340,464.00	25,137.31	980.00	1,015.28	9,900.00	7,906.14	1,453.62	1,646.37
Septiembre	345,838.80	24,242.29	970.00	1,004.92	9,989.00	7,977.22	1,097.29	1,242.78
Octubre	381,186.00	44,889.75	830.00	859.88	12,400.00	9,902.64	3,523.40	3,990.61
Noviembre	432,439.20	33,233.86	2,120.00	2,196.32	8,000.00	6,388.80	1,897.57	2,149.19
Diciembre	444,538.80	36,859.05	2,560.00	2,652.16	13,645.50	10,897.30	1,500.41	1,699.36
Totales (unidad)	4,043,072.19	326,086.86	13,980.00	14,483.28	121,040.50	96,662.94	19,050.61	21,576.72

Fuente [Departamento de Mantenimiento, PRONACA, 2012]

3.1.1.1 Energía eléctrica

La energía eléctrica se toma del sistema interconectado nacional, a un voltaje de 22800V (mediana tensión) a 60 HZ para luego, mediante un transformador se baje el voltaje a 460 V en los tableros de distribución y posteriormente para el consumo de los equipos, se dispone de 220 V y 110 V. La empresa concesionaria es la Empresa Eléctrica Quito. Entre los consumidores de este tipo de energía están los motores eléctricos que accionan los diferentes equipos, iluminación de las instalaciones, bombas, ventiladores, computadoras y equipos varios.

3.1.1.2 Combustibles

El combustible diesel es utilizado para el funcionamiento del generador eléctrico y ocasionalmente para la caldera. El combustible bunker es utilizado para el funcionamiento del generador de vapor (caldera). Para estos dos combustibles la planta de elaborados y embutidos de PRONACA cuenta con un tanque compartido con capacidad de 12500 galones para el bunker y 7500 galones para el diésel y son adquiridos a la empresa VEPAMIL, su traslado lo hacen desde el centro de distribución del Beaterio hacia la planta, en tanqueros. La figura N° 3.1 muestra los tanques de almacenamiento para los combustibles.



Figura N° 3.1 Tanque de almacenamiento de combustibles

Fuente [Propia]

3.1.1.3 Gas licuado de petróleo

El GLP se utiliza en equipos como el horno de cocción de temperaturas altas HNHO4000, cocinas industriales, secadoras industriales de ropa y otros equipos pequeños. Se lo adquiere a la empresa REPSOL GAS y para su almacenamiento utilizan un recipiente a presión con capacidad de 1000 kg, como se observa en la figura N° 3.2



Figura N° 3.2 Recipiente de almacenamiento de G.L.P.

Fuente [Propia]

3.1.2 CONSUMOS Y COSTOS DE LOS TIPOS DE ENERGÍA

La tabla N° 3.2 establece los datos históricos de consumo y costos del año 2011 en la planta de elaborados y embutidos de PRONACA. Los valores mensuales de consumo son mayores en la energía eléctrica al igual que sus costos, éstos han ido creciendo a medida que transcurre los meses del año, en cambio el consumo y costo de diesel en promedio es el más bajo de todos.

El costo total por consumo de los cuatro tipos de energía en el año 2011 asciende a un valor de 458.809,80 USD, la figura N° 3.3 resume mediante un gráfico el porcentaje y costos respectivos de cada energía.

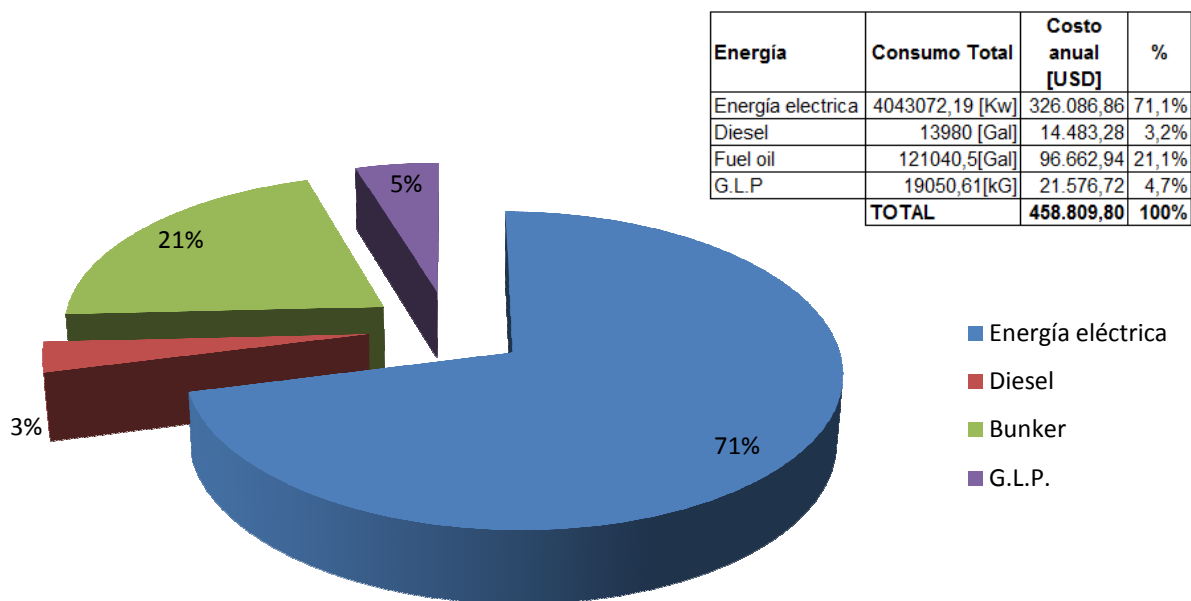


Figura N° 3.3 Costos totales de los tipos de energía del año 2011

3.1.3 COSTOS DEL CONSUMO ELÉCTRICOS DE LOS EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN

Los equipos de refrigeración de la planta de elaborados y embutidos emplean para su funcionamiento energía eléctrica, en las instalaciones de amoníaco, como las de halocarburos.

La figura N° 3.4 indica de forma gráfica los costos de energía eléctrica versus los meses del año 2011, datos que corresponden a las facturas emitidas mensualmente por la empresa concesionaria.

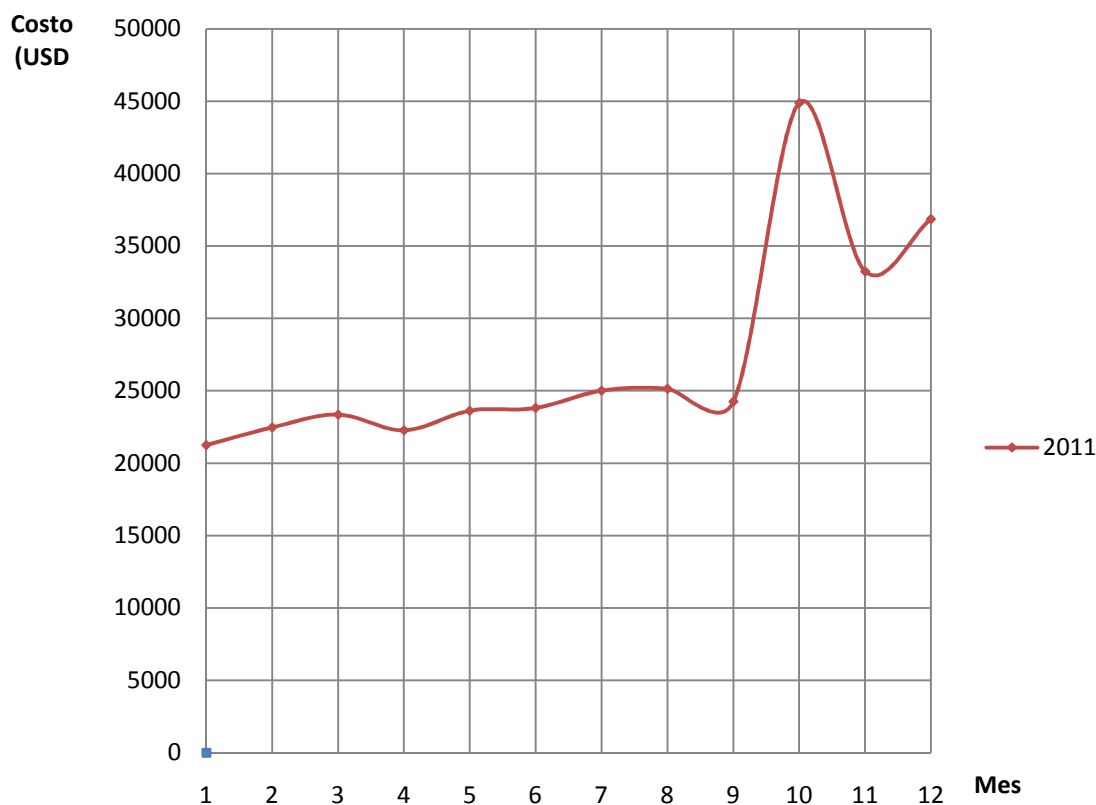


Figura N° 3.4 Curvas de costos de energía eléctrica versus meses del año

Al inicio se tiene el valor más bajo con una cantidad de 21.248 USD, y permanece relativamente estable hasta el mes de septiembre en donde repunta hasta un punto máximo en el mes de octubre con el valor de 44.890 USD., mientras que en los últimos meses sufre una disminución hasta finalizar en diciembre.

Para establecer el valor de los consumos de energía eléctrica correspondientes a los equipos de refrigeración se considerará la tabla N° 3.3, donde se indica la jornada laboral, sus costos por consumos anuales correspondientes a cada equipo, considerando que se pagó un valor promedio para el año 2011 de 0.081 USD por cada KW-h consumido.

Tabla N° 3.3 Costos de energía eléctrica en el sistema de refrigeración de la planta de elaborados y embutidos de PRONACA.

Costos de energía eléctrica							
	Equipo	Código	Potencia requerida (kW)	Jornada (hora/día)	Potencia consumida anualmente (Kw-h/Año)	Costo anual (USD/Año)	
Sistema de acondicionamiento de aire	Compresores	SNCM2000	74,6	24	653243,8	52912,75	
	Condensadores	SNCN1000	23,9	24	209038,0	16932,08	
		SNCN2000	4,1	24	35928,4	2910,20	
	Evaporador a presión de evaporación alta	ETEO 1000	0,7	22	5988,1	485,03	
		ETEO 2000	0,7	22	5988,1	485,03	
		ETEO 3000	0,7	22	5988,1	485,03	
		ETEO 4000	0,7	22	5988,1	485,03	
		MTEO 1000	0,6	22	4491,1	363,78	
		MTEO 2000	0,6	22	4491,1	363,78	
		MTEO 3000	0,5	22	3992,0	323,36	
		PTEO 1000	0,6	22	4491,1	363,78	
		DTEO 1000	0,5	22	3992,0	323,36	
	SUBTOTAL 1			108,2	270,0	943619,8	76433,2
	Sistema de refrigeración de dos etapas	Compresor segunda etapa	SNCM1000	93,2	24	816554,8	66140,94
Compresor primera etapa		SNCM3000	22,4	24	195973,2	15873,83	
Evaporador a presión de evaporación intermedia		CTEO 1000	0,2	22	1996,0	161,68	
		CTEO 2000	0,5	22	3992,0	323,36	
		CTEO 5000	0,5	22	3992,0	323,36	
		CTEO 15000	0,7	22	5988,1	485,03	
		CTEO 6000	0,5	22	3992,0	323,36	
		CTEO 8000	0,7	22	5988,1	485,03	
		CTEO 18000	1,5	22	11976,1	970,07	
Chiller		HNBS1000	0,6	12	2449,7	198,42	
		HNBS2000	0,6	12	2449,7	198,42	
Evaporador a presión de evaporación baja		CTEO 4000	0,7	22	5988,1	485,03	
		CTEO 14000	0,7	22	5988,1	485,03	
		CTEO 7000	1,2	22	9980,1	808,39	
	CTEO 17000	0,7	22	5988,1	485,03		
Máquina de hielo	CNGH1000	0,25	8	725,1	58,73		
	CNGH1000	0,04	8	108,9	8,82		
SUBTOTAL 2			125,2	330,0	1084130,0	87814,5	

Unidades individuales con halocarburos	Evaporador	CTE0 9000	0,09	22	748,5	60,63
		CTE1 900	0,466	22	3742,5	303,15
		HN00 1000	0,559	22	4491,1	363,78
		HN00 2000	0,559	22	4491,1	363,78
		PNEN 1000	0,199	22	1596,8	129,34
		CTE1 1000	0,466	22	3742,0	303,10
		CTEO A00	0,466	22	3742,0	303,10
		FA - EV033	0,559	22	4491,1	363,78
		FA - EV034	0,559	22	4491,1	363,78
	Unidades condensadoras	CTE0 9000	11,186	22	89821,0	7275,50
		CTE1 900				
		HN00 1000	4,847	22	38922,4	3152,72
		HN00 2000	4,847	22	38922,4	3152,72
		PNEN 1000	2,237	22	17964,2	1455,10
		CTE1 1000	2,983	22	23952,3	1940,13
		CTEO A00	4,101	22	32934,4	2667,68
		FA - EV033	4,847	22	38922,4	3152,72
		FA - EV034				
SUBTOTAL 3			39,0	352,0	312975,3	25351,0
TOTAL ANUAL (SUBT. 1+SUBT.2+SUBT.3)			272,36	952,00	2.340.725,09	189.598,73

Como se observa en la tabla la jornada laboral de cada equipo varía de acuerdo al tiempo de empleo de los mismos; se estimó un valor promedio de utilización en cada equipo de acuerdo a la información de dos fuentes: operarios de cada sector y departamento de mantenimiento, obteniéndose así para los compresores de amoníaco el tiempo de utilización de 24 horas para ambos ciclos, en el caso de los evaporadores 22 horas (menos dos horas debido a la jornada de descongelamiento descrita en tabla N° 2.2). En el caso del sistema chiller la utilización es cíclica con un tiempo de funcionamiento de sus bombas de 12 horas diarias, la máquina de hielo se la emplea para la formulación de emulsiones¹⁷ y su producción es cíclica con un tiempo de uso de 8 horas. Finalmente para las unidades individuales con halocarburos y

¹⁷PRONACA, Departamento de producción, 2012

ventiladores de evaporadores se estimó un tiempo de 22 horas considerando el período de descongelamiento

3.1.3.1 Análisis de costos del sistema de refrigeración

La tabla N°3.4 establece que el sistema de refrigeración consume anualmente un valor de 189.598,73 USD, valor que corresponde al 58 % del costo anual en el año 2011 que fue de 326.086,9 USD. La figura N° 3.5 muestra mediante un gráfico en porcentaje los costos involucrados.

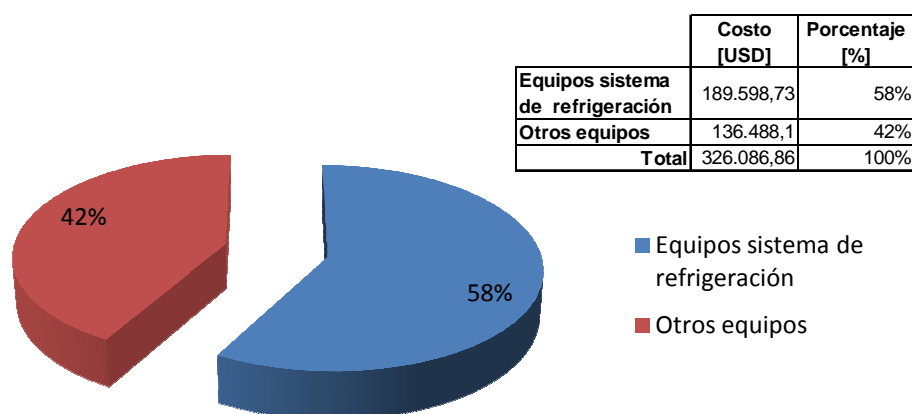


Figura N° 3.5 Porcentaje de costos de energía eléctrica en los equipos de refrigeración de la planta de elaborados y embutidos de PRONACA.

3.2 INSPECCIÓN GENERAL DE LOS EQUIPOS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE LA PLANTA DE ELABORADOS Y EMBUTIDOS DE PRONACA.

El sistema de refrigeración con amoníaco es el encargado de garantizar una cadena de frío a lo largo de todo el proceso productivo, que empieza desde la recepción de la materia prima hasta el despacho del producto terminado, motivo por el cual los equipos del sistema deben estar en óptimas condiciones para garantizar la frescura y calidad del producto final.

Los compresores recíprocos son el corazón del sistema de refrigeración, por tal razón, los parámetros que se controlen son indispensables para un buen funcionamiento

En este apartado se realizará una de las etapas relevantes de la auditoría energética, que consiste en realizar el diagnóstico energético preliminar del sistema de refrigeración, trabajo que se ejecuta conjuntamente con el técnico de mantenimiento. Las acciones a efectuarse fueron:

- Inspecciones del estado actual de los equipos
- Análisis de los registros de operación y mantenimiento
- Recopilación de datos de operación los equipos.

3.2.1 EQUIPOS DEL SISTEMA CENTRALIZADO CON AMONIACO

Mediante el diagnóstico energético preliminar se pueden determinar las medidas de ahorro energético, por lo que en la planta se realizó una inspección del estado actual de las partes importantes, considerando los elementos que constituyen al equipo, que no funcionan correctamente y que puede provocar pérdidas de energía que disminuye la eficiencia del equipo e incrementa costos de operación y mantenimiento.

3.2.1.1 Compresores reciprocantes

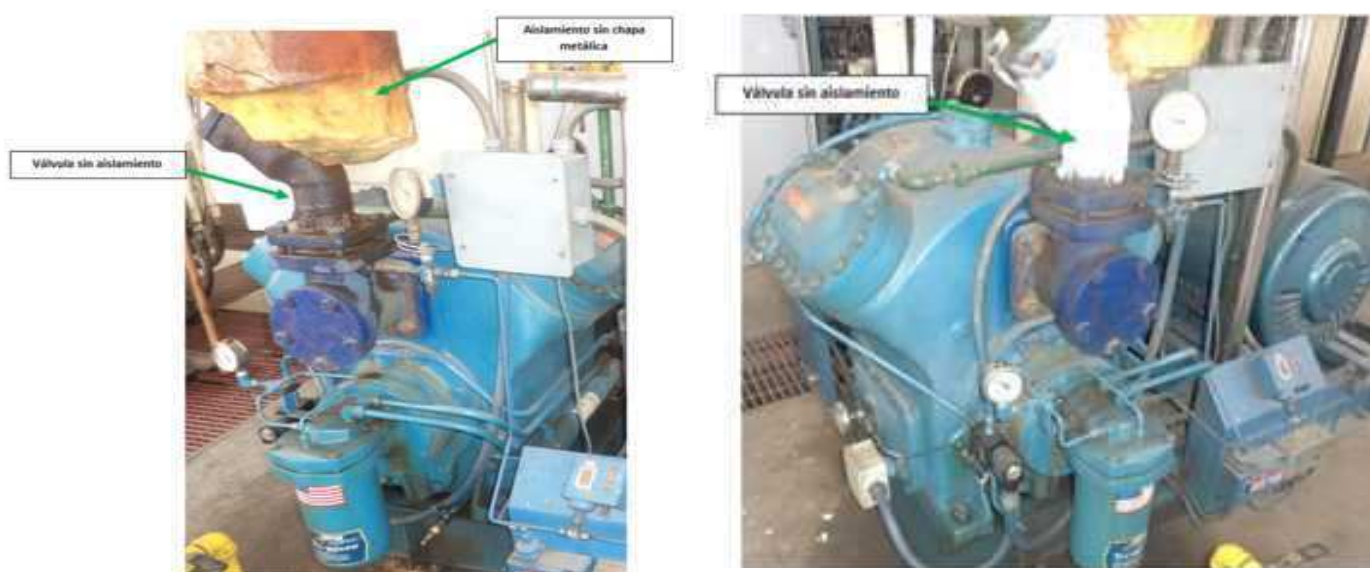
En los compresor SNCM1000,SNCM2000 y SNCM3000 se revisaron los siguientes ítems: medidores de presión y temperatura en la succión, descarga y cárter del lubricante, el subsistema de enfriamiento de los cabezotes, el subsistema de lubricación, subsistema de transmisión, el separador de aceite y las accesorios de la tubería aledañas. La tabla N° 3.4 indica el resumen del diagnóstico preliminar de los compresores así como las observaciones pertinentes.

Tabla N° 3.4 Resumen del diagnóstico preliminar de los compresores del sistema de refrigeración

Compresores reciprocantes							
Subsistemas	Partes	SNCM1000		SNCM2000		SNCM3000	
		Estado	Daños encontrados	Estado	Daños encontrados	Estado	Daños encontrados
Cuerpo	Carcaza	Ok	-	Ok	-	Ok	-
Tubería aledañas	Succión	Malo	Chapa protectora deteriorada	Malo	Chapa protectora deteriorada	Malo	Chapa protectora deteriorada
	Descarga	Ok	-	Ok	-	Ok	-
Medidor de presión	Succión	Ok	-	Ok	-	Ok	-
	Descarga	Ok	-	Ok	-	Malo	No son visibles los valores
Medidor de temperatura	Succión	Ok	-	Ok	-	Ok	-
	Descarga	Ok	-	Ok	-	Ok	-
Enfriamiento de cabezotes	Tuberías	Ok	-	Ok	-	No posee	
	Válvulas	Ok	-	Ok	-	No posee	
Lubricación	Filtro	Ok	-	Ok	-	Ok	-
	Intercooler	Ok	-	Ok	-	Ok	-
	Nivel de aceite	Malo	Lubricante en el piso	Malo	Lubricante en el piso	Ok	-
	Tuberías	Ok	-	Ok	-	Ok	-
Transmisión	Motor	Ok	-	Ok	-	Ok	-
	Poleas y bandas	Ok	-	Ok	-	Ok	-
Separador de aceite	Tuberías	Ok	-	Ok	-	Ok	-
	Cuerpo	Ok	-	Ok	-	Ok	-
Válvulas y accesorios	Válvulas de compuerta	Malo	Sin aislamiento	Malo	Sin aislamiento	Malo	Sin aislamiento
	Válvulas solenoides	Ok	-	Ok	-	Ok	-

La tabla N° 3.4 establece los siguientes inconvenientes: las tuberías de succión cercanas a los compresores carece de protección de aluminio para el aislamiento. El medidor de presión de descarga del compresor SNCM3000 debido a que la escala de división está a un lado y no se distinguen claramente los números presentan lecturas no confiables.

Válvulas de compuerta de la línea de succión de los tres compresores no presentan un adecuado aislamiento térmico, efecto que provoca condensación de refrigerante y potencial daño al compresor, como se observa en la figura N° 3.6



a)

b)

Figura N° 3.6 a) Daños encontrados en el compresor SNCM2000 b) Daños encontrados en el compresor SNCM3000.

El subsistema de lubricación del compresor SNCM1000 y SNCM2000 presentan manchas de lubricante en el piso, debido a un empaque dañado provocando una mala reposición de aceite; este desperfecto muestra la figura N° 3.7



Figura N° 3.7 Lubricante que se desperdicia en el compresor SNCM1000

3.2.1.1.1 *Registro de operación de compresores recíprocos*

En un formato establecido por la empresa se registran los parámetros de operación, que corresponden a los datos de los medidores de presión y temperatura al ingreso y salida del refrigerante del compresor, además de los datos del horometro que determina el tiempo de funcionamiento en horas; todos estos valores anotados son requisitos para validar el proceso de mantenimiento en la planta, observando normas nacionales e internacionales¹⁸

3.2.1.1.2 *Registro de mantenimiento de compresores recíprocos*

Los técnicos encargados de ejecutar la programación preventiva de los compresores cada lunes reciben del planificador de mantenimiento los documentos a través de la gestión del software EAM. Este programa maneja dos tipos de mantenimiento: la inspección y el mantenimiento; cada uno de estos dos mantenimientos programados se los realiza mediante una frecuencia semanal

¹⁸PRONACA, Departamento de Mantenimiento, 2012

establecida en la codificación respectiva. La figura N° 3.8 y 3.9 indican un ejemplo de cada uno de ellos.

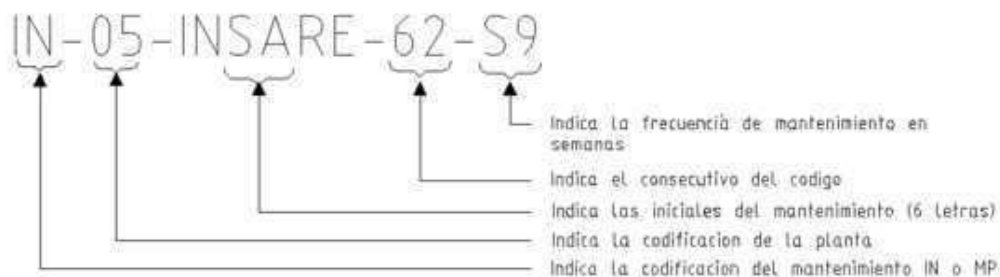


Figura N° 3.8 Codificación del mantenimiento programado tipo inspección

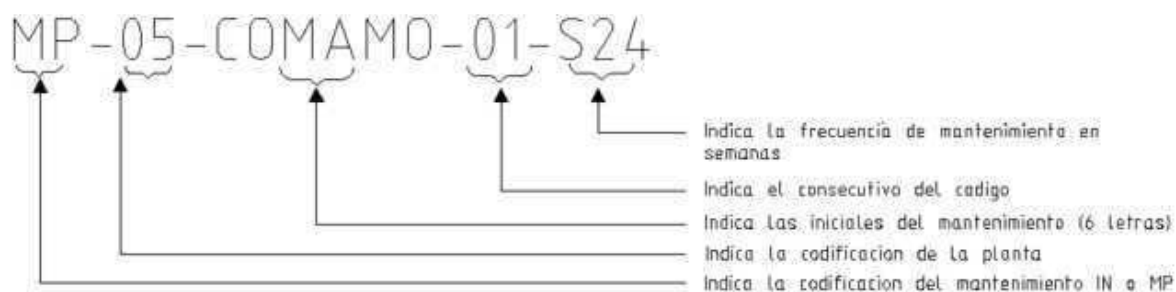


Figura N° 3.9 Codificación del mantenimiento programado tipo mantenimiento

En el anexo B.1 se establece el diagrama de flujo de la programación de mantenimientos preventivos que se realiza a los equipos de refrigeración así como su codificación.

3.2.1.2 Condensadores evaporativos

La inspección a los equipos SNCN1000 y SNCN2000 consiste en la revisión de los siguientes ítems: estructura externa, ventiladores centrífugos, serpentín de enfriamiento, bombas centrifugas de recirculación, válvulas reguladoras, como indica la tabla N° 3.5

Tabla N° 3.5 Resumen del diagnóstico preliminar de los condensadores evaporativos

Condensadores evaporativos					
Subsistemas	Partes	SNCN1000		SNCN2000	
		Estado	Daños encontrados	Estado	Daños encontrados
Medidor de presión	Manómetro	Ok	-	Ok	-
Estructura externa	Carcaza	Malo	Fugas de agua en la base	Mal estado	Fugas de agua en la base
Ventiladores centrífugos	Motores eléctricos	Ok	-	Ok	-
	Rodetes	Malo	Sedimentos suciedad	Mal estado	Sedimentos suciedad
Serpentín de enfriamiento	Serpentín	Ok	-	Ok	-
Bombas centrifugas	Motores eléctricos	Ok	-	Ok	-
	Aspersores y eliminadores	Malo	Eliminadores deteriorados	Malo	Eliminadores deteriorados
Válvulas reguladoras	Válvulas de nivel	Ok	-	Ok	-

Fuente [Propia]

Como se establece en la tabla N° 3.5 y figura N° 3.10, los dos equipos la estructura externa presenta fugas de agua en la base, la pintura que recubre la superficie se encuentra deteriorada, la carcasa del rodete del ventilador y el tanque de recepción de agua presenta sedimentos acumulados evento que puede interferir en el movimiento del mismo. Finalmente algunos paneles de eliminadores y aspersores se encuentran deteriorados y obstruidos.



Figura N° 3.10 Daño encontrado en el condensador evaporativo SNCN2000

3.2.1.2.1 *Registro de operación de condensadores evaporativos*

Los técnicos no registran los parámetros de operación de los equipos, a pesar de que a la entrada del serpentín de enfriamiento se tiene un medidor de presión para los dos condensadores evaporativos; se debe destacar también que en la salida del serpentín no existe un medidor de presión o temperatura.

3.2.1.2.2 *Registro de mantenimiento de condensadores evaporativos*

Los operarios del departamento de mantenimiento son los que realizan las acciones, mediante el cumplimiento y entrega de los trabajos programados al planificador con lo cual se consigue tener un respaldo físico de los trabajos y disminución de los mantenimientos de tipo correctivos.

3.2.1.3 Evaporadores y válvulas de expansión

Las inspecciones realizadas a los evaporadores y válvulas de expansión se realizó de acuerdo a los ciclos de funcionamiento y se analizaron los siguientes elementos: estructura externa, serpentín, ventiladores centrífugos, tuberías de succión y descarga, válvula de control del refrigerante y serpentín de descongelamiento

3.2.1.3.1 *Evaporadores ciclo de acondicionamiento de aire*



Figura N° 3.11 Válvula reguladora de presión deteriorada tubería de succión sector de elaboración.

Tabla N° 3.6 Resumen del diagnóstico preliminar evaporadores del ciclo de acondicionamiento de aire

Subsistemas	Partes	GTEO 1000		GTEO 2000		GTEO 3000		GTEO 4000		MTEO 1000		MTEO 2000		MTEO 3000		DTEO 1000	
		Estado	Daño	Estado	Daño	Estado	Daño	Estado	Daño	Estado	Daño	Estado	Daño	Estado	Daño	Estado	Daño
Estructura externa	Bandeja recolectora	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-	No tiene	-
	Estructura	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-
Ventiladores centrífugos	Motores eléctricos	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-
	Rodetes	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-
Serpentín de enfriamiento	Serpentín	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-
Tuberías	Succión	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-
	Descarga	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-
Válvula de control de refrigerante	Válvula de expansión termostática	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-
	Termocupla tipo K	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-
	Válvulas reguladoras	Malo	En mal estado	Malo	En mal estado	Malo	En mal estado	Malo	En mal estado	Malo	En mal estado	Ok	-	Ok	-	Malo	En mal estado

Los evaporadores del ciclo de acondicionamiento de aire como se indica en la tabla N° 3.6, no presentan daños por la no existencia de desperfectos visibles, en cambio se observa que las válvulas reguladoras de presión en las líneas de succión están deterioradas, el medidor de presión su escala de lectura es poco visible, además de que externamente todas sufren un proceso de corrosión. La figura N° 3.11 muestra una válvula reguladora típica.

3.2.1.3.2 *Evaporadores del ciclo de refrigeración de dos etapas*



Figura N° 3.12 Válvula reguladora de presión deteriorada

Tabla N° 3.8 Resumen del diagnóstico preliminar evaporadores del ciclo de refrigeración (presión baja de evaporación)

Subsistemas	Partes	CTEO 4000		CTEO 14000		CTEO 7000		CTEO 17000	
		Estado	Daño	Estado	Daño	Estado	Daño	Estado	Daño
Estructura externa	Bandeja recolectora	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-
	Estructura	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-
Ventiladores centrífugos	Motores eléctricos	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-
	Rodetes	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-
Serpentín de enfriamiento	Serpentín	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-
Tuberías	Succión	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-
	Descarga	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-
Válvula de control de refrigerante	Válvula de expansión termostática	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-
	Termocupla tipo K	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-
	Válvulas reguladoras	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-
Serpentín de descongelamiento	Serpentín	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-
	Válvulas y accesorios	Ok	-	Ok	-	Ok	-	Ok	-

Las tablas N° 3.7 y 3.8 indican el estado de las válvulas reguladoras de presión correspondientes a cada equipo y, sus medidores de presión requieren en algunos casos reposición completa. La figura N° 3.12 indica una válvula reguladora de presión típica de la cámara 1000 que presenta puntos de inicio de corrosión.

3.2.1.3.3 Registro de operación de los evaporadores del sistema de refrigeración

Los únicos datos de operación que pueden registrarse en los equipos son los que se visualizan en los manómetros de las válvulas reguladoras de presión.

3.2.1.3.4 Registro de mantenimiento de los evaporadores del sistema de refrigeración

Los mantenimientos preventivos son trabajos programados que realizan los técnicos de turno en cada equipo de un sector determinado, una vez culminados se reporta al planeador, este se encarga de registrarlos con alguna observación o materiales extras que se emplearon. Los datos son almacenados en la memoria del software y los respaldos físicos en la bodega de mantenimiento.¹⁹

3.2.1.4 Vaporizadores e intercooler

La inspección permitió analizar el interenfriador (SNAM1000) y los dos vaporizadores (SNAM2000, SNAM3000) en cada uno de ellos se revisaron las chapas de aluminio y aislamiento, válvulas, elementos eléctricos y conexiones de tuberías, como indica la tabla N° 3.9

¹⁹PRONACA, Departamento de mantenimiento, 2012

Tabla N° 3.9 Resumen del diagnóstico preliminar de los vaporizadores e interenfriador

Subsistemas	Partes	SNAM1000		SNAM2000		SNAM3000	
		Estado	Daño	Estado	Daño	Estado	Daño
Chapa de aluminio y aislamiento	Chapas y aislamiento	Ok	-	Ok	-	Ok	-
Válvulas	nivel alto	Ok	-	Ok	-	Ok	-
	nivel bajo	Ok	-	Ok	-	Ok	-
	solenoides	Ok	-	Ok	-	Ok	-
	globo	Ok	-	Ok	-	Ok	-
Elementos eléctricos	Presostatos	Ok	-	Ok	-	Ok	-
Conexiones tuberías	Succión	Ok	-	Ok	-	Ok	-
	Descarga	Ok	-	Ok	-	Ok	-



Figura N° 3.13 Escarcha de hielo formado en la tubería de las válvulas de nivel del vaporizador SNAM3000

Como indica la tabla N° 3.9 los equipos analizados no presentan un daño notorio, se aprecia en las tuberías que conectan a las válvulas de nivel en todos los equipos se forma una capa de hielo Figura N° 3.13.

Registro de operación de los vaporizadores e intercooler

Estos equipos no requieren un control de parámetros debido a que su funcionamiento es automático con respecto a evitar la succión de líquido al compresor.

Registro de mantenimiento

El registro de los mantenimientos preventivos programados realizados a las partes de este equipo, se obtiene de la base de datos del software de mantenimiento en donde se detalla las actividades realizadas en cada punto preestablecido.

3.2.1.5 Sistema chiller y máquina de hielo

La inspección realizada al sistema consistió en la revisión de los siguientes ítems: estructura externa, evaporadores baudelot, bombas centrifugas, tanque de recepción del refrigerante y aislamiento, tuberías de distribución del agua.

Con respecto a la máquina de hielo CNGH1000 se revisaron los siguientes ítems: aislamiento, motor eléctrico de la bomba centrifuga y giro de aspersores, tanque de recepción del refrigerante, válvulas, canal de recepción del hielo

Tabla N° 3.10 Resumen del diagnóstico preliminar del sistema chiller

Subsistemas	Partes	HNEN1000	
		Estado	Daño
Estructura externa	Estructura	Ok	-
Válvula reguladora de presión	Manómetro	Ok	-
	Válvula	Ok	-
Evaporadores baudelot	Evaporadores	Ok	-
Bombas centrifugas	Recirculación	Ok	-
	Aspersores	Ok	-
Tanque recepción del refrigerante y aislamiento	Tanque y aislamiento	Ok	-
Tuberías de distribución agua	Tuberías	Ok	-
	Aspersores	Ok	-

Tabla N° 3.11 Resumen del diagnóstico preliminar de la máquina de hielo

Subsistemas	Partes	CNGH1000	
		Estado	Daño
Estructura externa	Estructura	Ok	-
	Aislamiento	Ok	-
Motor eléctrico	Bomba centrifuga	Ok	-
	Giro aspersores	Ok	-
Tanque	Recepción refrigerante	Ok	-
	Agua	Ok	-
Válvulas	Termostática	Ok	-
	Reguladora de presión	Mal	Deteriorada
	Manómetro	Mal	Deteriorada
Canal de recepción del hielo	Tuberías	Ok	-
	Aspersores	Ok	-

Las tablas N° 3.10 y N°3.11, establecen para los dos equipos que el estado de las válvulas reguladoras físicamente no es bueno, por los puntos de corrosión, fenómeno físico que puede afectar a su funcionamiento. En el caso

del manómetro de la máquina de hielo este se encuentra deteriorado por lo que la calibración de las válvulas puede estar errónea.

3.2.1.5.1 Registro de operación

Los equipos poseen medidores de presión pero no se registran los parámetros de ninguno de los dos equipos.

3.2.1.5.2 Registro de mantenimiento

Los registros de este ítem se regulan a través de los mantenimientos preventivos programados que se aplican a cada equipo en la planta. En el anexo B.2 se indican cada uno de ellos con sus respectivas codificaciones.

3.2.1.6 Líneas de amoniaco

La inspección realizada a las líneas de amoniaco permitió constatar que éstas poseen material aislante y chapa protectora de aluminio de espesor 1 mm, en la línea de succión y descarga. Para cada proceso se encuentran diferentes diámetros de tuberías que detallan las tablas N°3.12 y N° 3.13 y su distribución en la planta se encuentra en el anexo C.4; las tuberías en el tramo 1- 2, 2-3 y 2-37 están aisladas en un solo conjunto, es decir existencinco tipos de tuberías con un solo aislamiento, junto a éstas está la de gas caliente para el descongelamiento de los evaporadores.

El proyecto considera los tramos más largos de tubería, debido a que la mayoría se hallan a la intemperie y son propensos a pérdidas de presión por longitud. Otro aspecto a considerar es que los accesorios como las reducciones de diámetros en las tuberías no se pueden distinguir, ya que éstos se encuentran dentro del aislamiento.

Tabla N° 3.12 Longitudes y diámetros de las tuberías del ciclo de acondicionamiento de aire

Ciclo de acondicionamiento de aire			
Tramo	Medidas		
	Diámetro (pulgadas)		Longitud (metros)
	Líquido	Gas	
1-2	1.5	4	18,20
2-3	0.75	2	11,29
3-10'	0.75	2	31,31
4-5	0.5	1.25	3,00
6-7	0.5	1.25	3,00
8-9	0.5	1.25	4,00
10-11	0.5	1.25	4,00
2-12	1.5	4	25,49
12-15'	0.75	2	30,07
13-14	0.5	1.25	2,08
15-16	0.5	1.25	2,10
12-17	1.5	3	8,39
17-20'	0.75	2	24,77
18-19	0.5	1.25	2,50
20-21	0.5	1.25	1,07

Fuente [Anexo C.4]

Tabla N° 3.13 Longitudes y diámetros de las tuberías del ciclo de refrigeración

	Ciclo de refrigeración			
	Tramo	Medidas		
		Diámetro (pulgadas)		Longitud (metros)
		Líquido	Gas	
Temperatura media de evaporación	1-2	1.5	4	18,18
	2-3	1.25	4	11,29
	3-22'	1	3	13,03
	22-23			1,49
	24-25	0.5	1	1,48
	2-26	1.25	4	3,39
	26-27	0.5	1.25	3,88
	26-31	1.25	4	12,29
	31-12	1.5	3	9,95
	12-29	0.75	3	3,12
	29-30	0.5	1.25	3,88
	31-32	0.75	2	17,15
	32-33	0.5	1.25	4,00
Temperatura baja de evaporación	1-2	1.25	3	18,18
	2-35	1.25	3	5,72
	35-36	0.5	3	2,78
	2-31	1	3	15,54
	31-37			9,62
	38-39	0.75	2	3,88
	35-40	1.25	3	9,15
	40-41	0.75	2	4,85
	41-42	0.75	2	1,55
Línea de gas caliente	1-2		2	18,18
	2-25		2	19,49
	2-37		2	25,16
	25-22		1	3,57
	22-23		0.5	1,49
	25-24		0.75	1,48
	35-36		0.75	2,78
	28-37		1.5	3,45
	37-29		1.25	3,45
	29-30		0.75	3,88

Fuente [Anexo C.4]

3.2.1.7 Determinación de consumo de amoniaco

Un parámetro importante es la determinación del consumo de amoniaco en el sistema, para obtener estos valores se utilizó la información de la bodega del departamento de mantenimiento que gestiona la compra de este refrigerante, la tabla N° 3.14 y figura N° 3.14 indican la cantidad consumida en kilogramos en el año 2011.

Tabla N° 3.14 Consumo de amoniaco en el sistema centralizado de refrigeración

MES	UNIDAD
	KG
Enero	0,0
Febrero	130,0
Marzo	65,0
Abril	0,0
Mayo	140,0
Junio	0,0
Julio	0,0
Agosto	130,0
Septiembre	195,0
Octubre	260,0
Noviembre	455,0
Diciembre	586,0

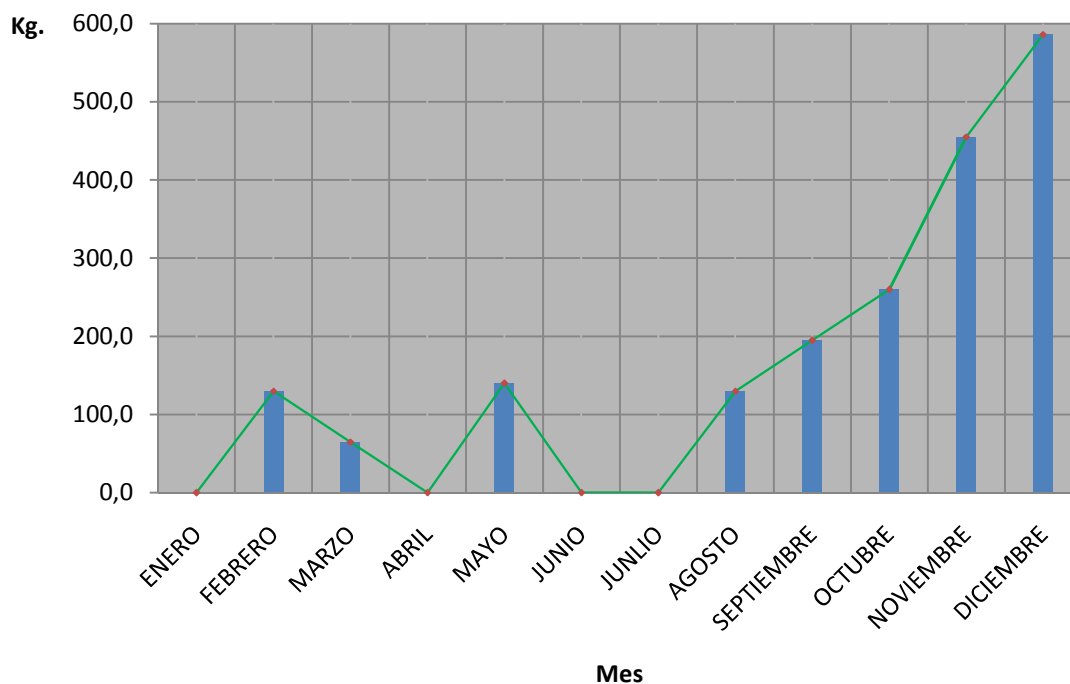


Figura N° 3.14 Consumo de amoniaco en el sistema de refrigeración

Como se observa en la figura N° 3.14 el consumo de refrigerante en el mes de enero, abril, junio y julio es nulo, mientras en los meses siguientes aumenta positivamente hasta obtener el valor máximo de 586 kg de amoniaco consumido. De acuerdo a este gráfico el consumo de amoniaco se presenta por dos causas: fugas en el sistema y mezcla de amoniaco con otros fluidos (agua, aceite).

3.1.4 EQUIPOS CON HALOCARBUIROS COMO REFRIGERANTES

La inspección realizada en las unidades consideró los siguientes ítems: Evaporadores, líneas de presión alta y baja, resistencias eléctricas de descongelamiento, compresor, condensador y accesorios. Las tablas N°3.15 y 3.16 muestran los resultados del diagnóstico preliminar.

Como se observa en las tablas, los evaporadores y unidades individuales no presentan daño notorio y se encuentran funcionando cada una de sus partes.

3.1.4.1 Registro de operación

Los equipos no cuentan con catálogos de información y tampoco se registran sus datos de operación.

3.1.4.2 Registro de mantenimiento

Los registros se establecen a través de los mantenimientos preventivos programados que se aplican a cada equipo con frecuencias semanales según el caso, en el anexo B.2 se explica este particular.

3.1.5 RECOPIACIÓN DE DATOS DE OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN DE LA PLANTA DE ELABORADOS Y EMBUTIDOS DE PRONACA

Un sistema de refrigeración debe establecer cuanta energía se remueve por cada vatio de energía utilizada, el indicador se conoce como Coeficiente de Operación (Coeficiente Of Performance, COP); y se desea que sea alto para tener un funcionamiento económico y eficiente.

Los equipos de refrigeración trabajan según un ciclo de compresión de vapor de una y dos etapas de acuerdo a puntos de ajuste de las presiones y temperaturas del refrigerante en su paso por el condensador evaporativo a temperatura alta y en su paso por los evaporadores a temperatura alta, media y baja según el ciclo respectivo. Estos procesos tienen rangos óptimos que dan lugar a los menores consumos de energía. Para evaluar el funcionamiento del sistema de refrigeración, se requiere de un estudio no sólo de los procesos particulares que constituyen el ciclo, sino también de: las relaciones que existen entre ellos y los efectos que un cambio produciría.

La determinación del COP del sistema se realiza con base a parámetros operativos, datos que son fundamentales para controlar el buen funcionamiento

de los equipos, además de registrar se deben almacenar para establecer un historial donde se pueden ver las variaciones de cada uno con el tiempo.

Del anexo B3. al B4.se observan los parámetros de funcionamiento de los equipos de acondicionamiento de aire y de refrigeración de dos etapas, en las presiones de evaporación alta, media, baja y la de condensación .Estos datos fueron obtenidas de los instrumentos de medición que se encuentran en los compresores, evaporador, y condensadores evaporativos. La tabla N° 3.17 indica los valores promedio que durante dos días se tomó en cada hora.

Cabe indicar que los datos correspondientes al condensador evaporativo se los tomo del manómetro que se ubica en la tubería de entrada a los serpentines de ambos equipos, mientras que para todos los evaporadores de amoniaco se tomaron los datos del manómetro de válvulas reguladoras de presión en cada caso.

Las unidades individuales con halocarburos presentan los parámetros de operación que vienen establecidos previamente de acuerdo a las especificaciones del fabricante, en algunos de los equipos se han modificado sus parámetros de funcionamiento entre estados adecuados para la operación del ciclo de refrigeración. La tabla N° 3.18 indica los valores tomados en cada unidad

Tabla N° 3.17 Parámetros de funcionamiento del sistema de refrigeración con amoniaco

	Condensadores Evaporativo		Compresor SNCM2000				Evaporadores de aire acondicionado		Compresor SNCM1000				Evaporadores a presión media		Compresor SNCM3000				Evaporadores a presión baja	
	Pres.	Temp.	Pres.		Temp.		Pres.	Temp.	Pres.		Temp.		Pres.	Temp.	Pres.		Temp.		Pres.	Temp.
			Succ.	Desc.	Succ.	Desc.			Succ.	Desc.	Succ.	Desc.			Succ.	Desc.				
UNIDADES INGLESAS	157,58 Psi	85,29 ° F	23,75 Psi	162,50 Psi	20,1 ° F	238,6 ° F	26,76 Psi	8,63 ° F	22,67 Psi	158,29 Psi	19,88 ° F	226,83 ° F	22,91 Psi	3,92 ° F	7,71 Psi	25,67 Psi	20,13 ° F	139,5 ° F	8,28 Psi	-18,2 ° F
UNIDADES SI	1,086 MPa	29,61 ° C	0,164 Mpa	1,120 Mpa	-6,6 ° C	114,78 ° C	0,185 Mpa	12,99 ° C	0,156 Mpa	1,091 Mpa	-6,74 ° C	108,02 ° C	0,158 Mpa	-15,6 ° C	0,053 Mpa	0,177 Mpa	-6,60 ° C	59,73 ° C	0,0571 Mpa	-27,9 ° C

Fuente [Anexo B.4]

Tabla N° 3.18 Parámetros de funcionamiento de las unidades individuales con halocarburos.

	Refrigerante	Presión de succión		Presión de descarga		Temperatura del espacio refrigerado	
		KPa	Psi	KPa	Psi	° C	° F
CTE0 9000	R-22	1283.3	183.1	129.8	18.82	-18,0	-0,4
CTE1 900							
CTE1 1000	R-22	1283.3	186.1	366.2	53.1	4,0	39,2
FA - EV033	R-22	1190.7	172.7	505.2	73.3	2,0	35,6
FA - EV034							
HN00 1000	R-507	2230.2	232.5	462.2	67	2,0	35,6
HN00 2000	R-507	2230.2	323.5	501.2	72.7	4,0	39,2
PNEN 1000	R-507	2535.2	367.7	709.2	102.8	-2,0	28,4
CTEO A000	R-507	2230.2	323.5	238.2	34.54	-13,0	8,6

3.3 INSPECCIÓN GENERAL Y MEDICIONES DE LAS CÁMARAS FRIGORÍFICAS

Las cámaras de refrigeración son importantes por su control de temperatura en los procesos productivos para garantizar la calidad del producto final.

El aislamiento y unión entre los paneles de las paredes y el techo son puntos importantes si se desea una operación controlada que garantice que no se pierda frío, con su consecuente mayor empleo de energía.

Para visualizar flujos de calor hacia el interior de las cámaras se ha empleado en el proyecto el análisis termográfico o inspección infrarroja. Este método es un ensayo no destructivo que se puede aplicar en los siguientes casos:

- Puntos calientes en maquinaria industrial
- Localización de daños en instalaciones eléctricas
- Análisis de laminaciones en materiales compuestos
- El control de procesos de fabricación
- La detección de pérdidas energéticas en hornos y cuartos fríos

Se emplea una cámara termográfica FLIR modelo E60 perteneciente a la empresa MECTEMAK cuyas especificaciones se detallan en el anexo B5.

3.3.1. FUNCIONAMIENTO DE LA CÁMARA TERMOGRÁFICA

La energía de infrarrojos (A) que irradia un objeto se enfoca con el sistema óptico (B) sobre un detector de infrarrojos (C). El detector envía los datos al sensor electrónico (D) para procesar la imagen. Y el sensor traduce los datos en una imagen (E), compatible con el visor y visualizable en un monitor de vídeo estándar o una pantalla LCD.²⁰



Figura N° 3. 15 Esquema de funcionamiento de una típica cámara termográfica

3.3.2. CONSIDERACIONES PREVIAS A LA INSPECCIÓN

El análisis termográfico considera los siguientes puntos importantes.

- La emisividad seteada en la cámara es de 0.95 de acuerdo a lo citado en el manual de operación de la cámara, para materiales no metálicos
- Las zonas que se tomó las fotografías termográficas son las que presentaron problemas en el momento de la inspección
- Las partes frecuentes analizadas corresponden a puertas, uniones entre paneles, esquinas de las paredes, techo y piso. La figura N° 3.16 indica la distribución de las zonas medidas.
- Las mediciones se realizó en las cámaras en donde existía mayor diferencia de temperatura entre la temperatura externa y la interna.

²⁰www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures

- Las cámaras inspeccionadas son las que se encontraban habilitadas en el momento de las mediciones, ya que actualmente la planta está ampliando la capacidad productiva por lo que algunas de ellas permanecen inhabilitadas como indica el anexo C5.
- En la cámara CN008000 la inspección se realiza de acuerdo con su configuración física y corresponde a los puntos a-a', b-b' y c-c' de la figura N° 3.16.

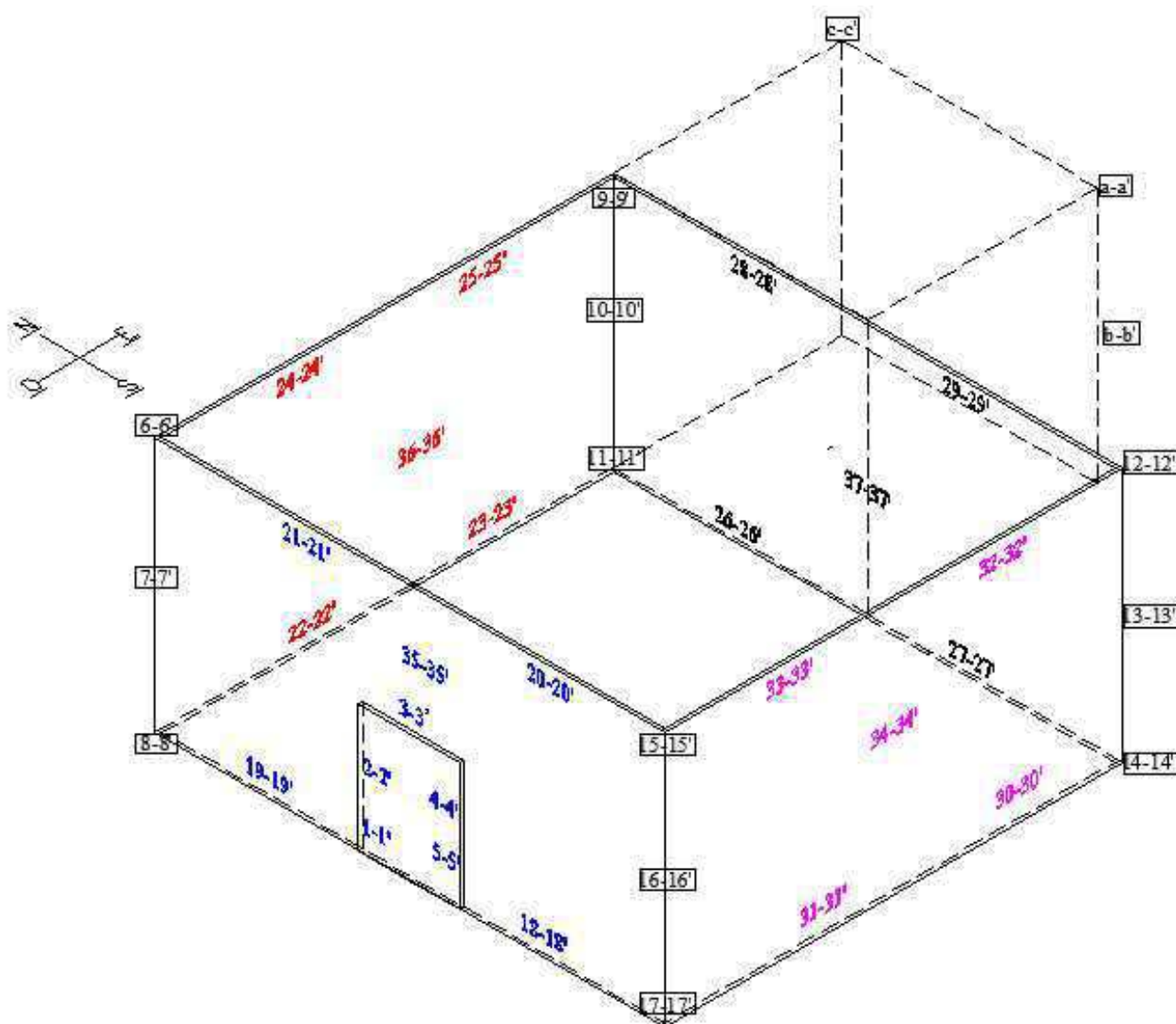


Figura N° 3.16 Zonas de inspección termográfica realizadas en una típica cámara de refrigeración.

3.3.3. DESCRIPCIÓN DE LAS INSPECCIONES REALIZADAS

Mediante la termografía de infrarrojos se busca en las cámaras de refrigeración las zonas y lugares críticos donde existendesperdicios de energía, esto se logra determinando los valores y variaciones de temperatura que cada pixel de la pantalla LCD de la cámara termográfica.

Para la inspección infrarroja se considera un punto o área fría cuando se está analizando la variación de temperatura en el exterior de la cámara y cuando se está en el interior se considera un punto o área caliente. La figura N° 3.17 indica dos tipos de fotografías: a) fotografía digital y b) fotografía termográfica.

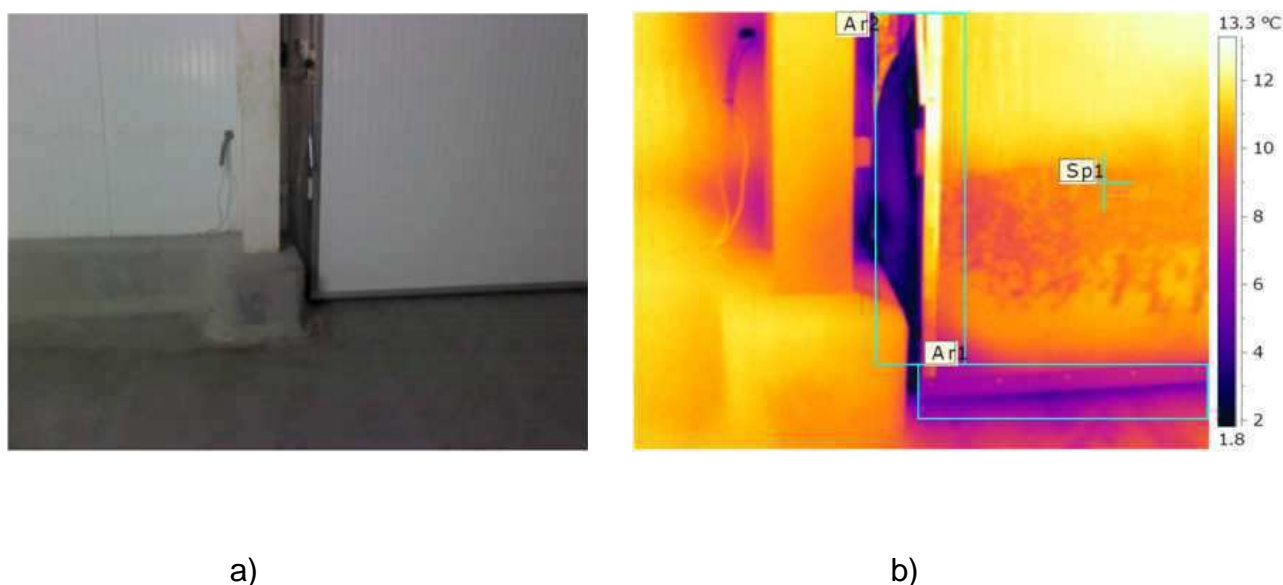


Figura N° 3.17 a) Fotografía digital de la zona 1-1' b) fotografía termográfica de la zona 1-1'

Considerando la figura N° 3.17 en el caso a) la fotografía de la zona 1-1 ´de la puerta de ingreso a la cámara CN00A000, al analizarla en busca de alguna anomalía visualmente no es posible detectar algún desperfecto, mientras que en caso b) las fotografías termográficas muestran una variación de temperatura a través del cambio de contraste de una zona, con lo cual se puede concluir que ahí hay una variación de temperatura por un mal estado del empaque que sella la puerta de ingreso.

El criterio que se ha considerado para analizar los puntos o zonas de los termogramas consiste en una valoración comparativa entre las temperaturas de un área de la foto y un punto de referencia que corresponde a la temperatura del proceso.

El anexo D muestra las fotografías termográficas, la tabla N° 3.19 establece las dimensiones y temperaturas que se tomaron en la inspección y recopilación de información. La tabla N° 3.20 indica las zonas donde se encontró fugas de energía con la descripción del problema y las dimensiones de las áreas identificadas en las cámaras de refrigeración.

Tabla N° 3.19 Cámaras disponibles en la inspección termográfica

Cámara	Largo	Ancho	Altura	Área	Volumen	Temperatura bulbo seco	Temperatura bulbo húmedo	Temperaturas de diseño
	(m)	(m)	(m)	(m ²)	(m ³)	° C	° C	° C
CN00A000	18,4	12,7	11	234,1	2575,14	-2,9	-2	-20.5
CN002000	11,6	5,8	2,45	67,63	165,69	5,4	4	4
CN005000	15,6	11,6	3,5	181,35	634,71	4,8	3,5	5
CN006000	3,8	11,6	3,5	43,62	152,66	5,9	4	4
CN007000	6	11,6	3,4	70,06	238,22	-12,6	-12,5	-18
CN008000	22,4	17,6	3,5	430,4	1506,4	3,8	3	0
	6,1	5,8						
Despachos	15,6	22,7	4,5	375,27	1688,73	7	6	10
	4,2	5						
Cámara de almacenamiento de jamones	7,2	1,2	3,5	8,59	30,07	-3,9	-3	-2
PN001000	4,8	2,1	2,5	9,86	24,64	-4	-4	-2
HN002000	4,9	5	3,5	24,33	85,17	16,8	14	4
HN001000	4,9	8,2	3,5	40,11	140,4	5	4	2

Tabla N° 3.20 Resultados obtenidos de la inspección termográfica

Cámara	Zonas	Descripción del problema hallado	Fotografía N°	Dimensiones de las fugas de energía			
				Vertical m	Horizontal m	Diámetro m	Espesor promedio m
CN00A000	1-1'	Mal selle del empaque de la puerta	2	1,2			0,00592
	2-2'		3	0,7			
	3-3'		1	1,2			
	4-4'		1		2		
	7-7'	Mala unión y sellamiento de los paneles aislantes laterales	12	2			
	10-10'		6	1,5			
	13-13'		11	2			
	16-16'		15		1,5		
	6-6'	Mala unión y sellamiento de los paneles aislantes laterales con los superiores	5		0,5		
	9-9'		7	2			
	12-12'		10	3			
	15-15'		4		0,5		
	21-21'	Mala unión y sellamiento de los paneles aislantes laterales con los superiores	13		2,8		
	20-20'		14		2		
	28-28'		8		2,8		
29-29'	9		3				
CN002000	12-12'	Mala unión y sellamiento de los paneles aislantes laterales con los superiores, áreas circulares	16		0,5		0,00467
	12-12'		16			0,0125	
	9-9'		21		0,5		
	6-6'		23	0,25			
	6-6'		23		0,75		
	14-14'	Mala unión y sellamiento de los paneles aislantes con el piso	18		0,5		
	26-26'		20		3		
	27-27'		19		2		
	23-23'		22		1,5		
	13-13'	Mala unión y sellamiento de los paneles aislantes laterales	17	0,25			
CN006000	15-15'	Mala unión y sellamiento de los paneles aislantes laterales con los superiores	28	0,15			0,00664
	15-15'		28		0,35		
	6-6'		23	0,25			
	6-6'		23		0,75		
	12-12'		35	0,25			
	12-12'		35		0,35		
	20-20'	Mala unión y sellamiento de los paneles aislantes laterales con los superiores	29		1,1		
	21-21'		31	0,2			

	21-21'		31		0,4	
	28-28'		33		0,35	
	29-29'		34		0,65	
CN007000	1-1'	Mal selle del empaque de la puerta	39	1,1		0,00643
	1-1'		39		1,6	
	2-2'		40	1,1		
	2-2'		40		0,6	
	3-3'		36	0,7		
	4-4'		38	0,25		
	5-5'		37		0,4	
	15-15'	Mala unión y sellamiento de los paneles aislantes laterales con los superiores	41		1	
	6-6'		45		1,2	
	9-9'		44		0,7	
	12-12'		42	0,5		
	12-12'		42		1,5	
21-21'	Mala unión y sellamiento de los paneles aislantes laterales con los superiores	46		0,6		
24-24'		43		0,5		
CN008000	1-1'	Mal selle del empaque de la puerta	48	0,6		0,00536
	1-1'		48		0,5	
	2-2'		47	0,6		
	4-4'		50	0,75		
	5-5'		49	1		
	6-6'	Mala unión y sellamiento de los paneles aislantes laterales con los superiores	59	0,75		
	6-6'		59		1,5	
	9-9'		57		1	
	12-12'		61	0,75		
	12-12'		61		1,5	
	15-15'		51		1,5	
	a-a'		54	2		
	c-c'		56	0,65		
	c-c'	56		1,5		
	21-21'	Mala unión y sellamiento de los paneles aislantes laterales con los superiores, áreas circulares	60		2	
	32-32'		53		0,02	
	32-32'		53		0,02	
33-33'	52			0,02		
b-b'	Mala unión y sellamiento de los paneles aislantes laterales	55	1,5			
Cámara temporal (almacenamiento jamones)	1-1'	Mal selle del empaque de la puerta	62	0,5		0,00500
	1-1'		62		1,5	
	3-3'		63	0,6		
	6-6'	Mala unión y sellamiento de los paneles aislantes laterales con los superiores	65	1		
	6-6'		65		2	
	9-9'		66		0,5	

	12-12'		67		0,5		
	15-15'		64		1		
HN002000	1-1'	Mal selle del empaque de la puerta	70	1			0,00486
	1-1'		70		1,5		
	4-4'		68		0,75		
	5-5'		69	1			
	28-28'	Mala unión y sellamiento de los paneles aislantes laterales con los superiores y áreas circulares	71	0,25			
	28-28'		71			0,0254	
	29-29'		72	1			
	29-29'		72			0,0254	
	6-6'	Mala unión y sellamiento de los paneles aislantes laterales con los superiores	73	0,4			
	6-6'		73		0,4		
	9-9'		74	0,4			
	9-9'		74		0,9		
	14-14'		Mala unión y sellamiento de los paneles aislantes con el piso	75		1,6	

Como se ve en la tabla N°3.20 de las 11 cámaras establecidas inicialmente para la inspección, se analizaron 7 de ellas considerando aspectos como: mayor diferencia de temperatura entre el interior – exterior y criticidad de las cámaras por procesos productivos.

3.4 INFORME PRELIMINAR DE LA AUDITORÍA ENERGÉTICA

El informe establece el análisis de las observaciones y los resultados de las mediciones termográficas realizadas en el sistema de refrigeración de la planta de elaborados y embutidos de PRONACA.

Se han identificado las medidas importantes tanto para las tuberías de succión descarga y gas caliente en los ciclos de acondicionamiento de aire y refrigeración de dos etapas en amoníaco y en las unidades individuales con halocarburos.

3.4.1 OBSERVACIONES DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Inspección de los equipos del sistema de refrigeración

Compresores recíprocos

- Existe un inconveniente en común en los tres compresores recíprocos, las líneas de succión cercanas a las válvulas de compuerta no están protegidas con material aislante, ni chapa protectora, acción que provoca condensación del refrigerante y potencial daño a los equipos de compresión.
- El manómetro del compresor SNCM3000 se encuentra en mal estado, los valores de la escala de presión están opacos y girados 180°, efecto que perjudica la toma del parámetro de operación

Condensadores evaporativos

Los dos condensadores evaporativos presentan fugas de agua en su base provocando desperdicio de líquido.

No se realiza frecuentemente una limpieza de los sedimentos principalmente en los alojamientos de los rodets y el tanque de almacenamiento de agua

Los eliminadores se encuentran deteriorados y algunos aspersores se encuentran obstruidos.

Evaporadores del sistema de refrigeración con amoníaco

Las válvulas reguladoras de presión a la salida de los evaporadores del ciclo de acondicionamiento de aire y de refrigeración a presión media de evaporación, externamente presentan puntos de corrosión, la escala de los manómetros se encuentra borrosa y no permite una lectura de los valores.

Las válvulas reguladores de presión del ciclo de refrigeración a presión baja y las de los evaporadores MTE02000, MTE03000 se encuentran en buen estado.

Vaporizadores e intercooler

Los vaporizadores e intercooler se encuentran en buen estado, sin anomalía alguna.

Chiller y máquina de hielo

El chiller y la máquina de hielo no presentan daños visibles, se encuentran funcionando bien.

Líneas de amoniaco

Las tuberías de los tramos 17 hasta 22', no poseen chapa protectora en el aislamiento, acción que puede provocar el deterioro del mismo

Unidades individuales con halocarburos

Los evaporadores, compresores y condensadores no presentan alguna anomalía visible.

3.4.2 OBSERVACIONES DE LAS CÁMARAS DE REFRIGERACIÓN

Mediante la inspección termográfica se analizaron las siguientes cámaras: CN00A000, CN002000, CN006000, CN007000, CN008000, cámara temporal de almacenamiento de jamón y HN002000. La toma se realizó de acuerdo a la zonificación de una cámara típica como muestra la figura N° 3.16, encontrando los siguientes resultados:

- En la Cámara CN00A000 se detectó cuatro áreas frías y doce áreas calientes.
- La cámara CN002000 no presenta áreas frías en la puerta de ingreso, mientras que internamente se encontraron diez áreas calientes.
- La cámara CN006000 no presenta anomalías en la puerta de ingreso, pero en el interior se hallaron once áreas calientes.

- La cámara CN007000 presenta siete áreas frías en la puerta de ingreso y en el interior se encontraron siete áreas calientes.
- La cámara CN008000 presenta cinco áreas frías en la puerta de ingreso y en el interior se encontró catorce áreas calientes.
- La cámara de almacenamiento temporal de jamones presenta dos áreas frías en la puerta de ingreso e internamente cuatro zonas calientes.
- En la cámara HN002000 se encontró cuatro áreas frías en la puerta de ingreso y en el interior nueve áreas calientes.
- En las cámaras CN00A000 y almacenamiento temporal de jamones, se observó que el aire no fluye a través de las zonas calientes, mientras que el resto de las cámaras sí.

CAPÍTULO 4

AUDITORÍA ENERGÉTICA DETALLADA

4.1 ANTECEDENTES

El presente capítulo determina el coeficiente de desempeño COP teórico y real de los ciclos termodinámicos del sistema de refrigeración de la planta, se hace una comparación entre los COP's en los ciclos de amoníaco. Seguido se calcula las pérdidas de energía en los puntos hallados mediante la inspección termográfica de las cámaras de refrigeración y finalmente se presenta algunas propuestas de mejora.

4.1.1 PROCESAMIENTO DE DATOS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

La electricidad que consume el sistema de refrigeración se utiliza para mantener la temperatura adecuada en cada proceso productivo. Se disponen de un sistema de refrigeración con amoníaco y algunas unidades individuales de condensación. El sistema de refrigeración tiene un consumo de 272,4 Kw y durante el año 2011 los equipos trabajaron entre 8 y 24 horas al día respectivamente. Gráficamente la figura N° 4.1 presenta los resultados mencionados.

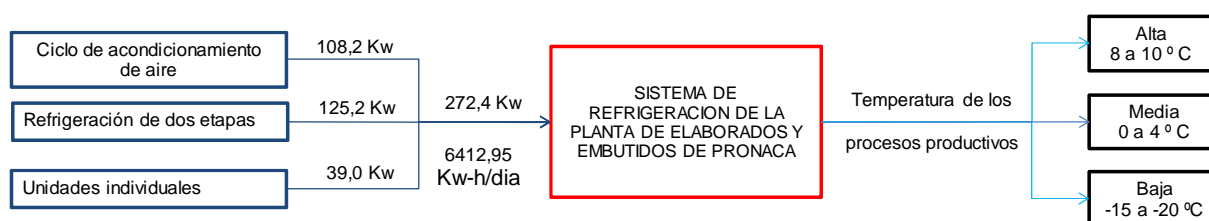


Figura N° 4.1 Esquema del reparto de consumo del sistema de refrigeración

El análisis de los procesos termodinámicos se realiza mediante gráficas y diagramas sobre los cuales se muestra visualmente el ciclo completo. Entre los

diagramas más empleados está el de presión-entalpía (p-h) y temperatura-entropía (t-s).

Las tablas N° 3.17y 3.18 indican los valores medios que durante dos días se tomó en los equipos del sistema de refrigeración. Estos datos fueron obtenidos de los instrumentos que se encuentran en el compresor, válvulas reguladoras de presión a la salida de los evaporadores e ingreso al condensador evaporativo, valores que servirán para la construcción de los ciclos.

4.2ANÁLISIS DE LOS CICLOS IDEALES CON REFRIGERANTE AMONIACO

El ciclo teórico considera que el vapor refrigerante que sale del evaporador y entra al compresor es vapor saturado a la temperatura y presión de evaporación y el líquido refrigerante que sale del condensador y llega a la válvula de control del refrigerante es un líquido saturado a la temperatura y presión de condensación.

En un ciclo real existe pérdidas de presión en varios puntos del sistema como indica la figura N°4.2, en donde se comparan un ciclo ideal con uno real.

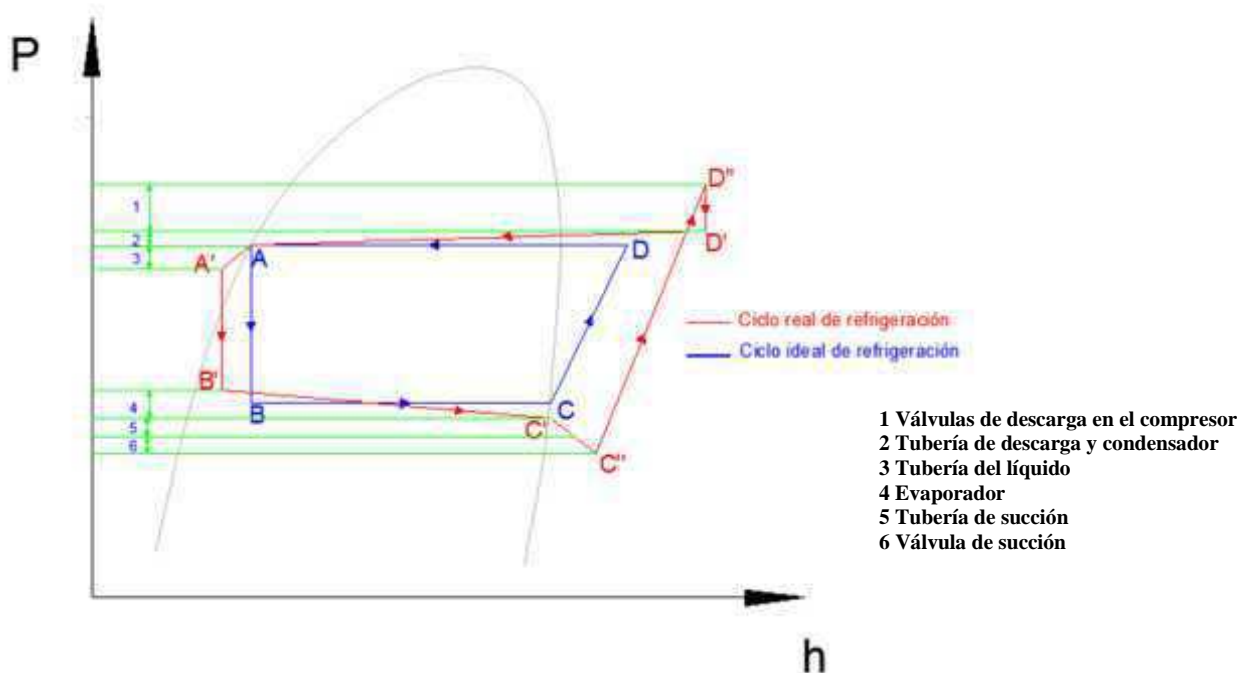


Figura N° 4.2 Caídas de presión en varias partes del sistema

Fuente [Propia]

Para la elaboración de las gráficas p-h se consideraran las perdidas 2, 5 y 6 debido a que los medidores de presión están en la entrada a los condensadores evaporativos, salida de los evaporadores (válvulas reguladoras de presión) y en la succión-descarga de los compresores

4.2.1. CICLO DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE

El anexo E8 indica que el estado A1 puede describirse como un punto a la salida del serpentín de enfriamiento del condensador, donde se encuentra como líquido saturado a la presión de condensación. Las propiedades del refrigerante en este punto son obtenidas de las tablas termodinámicas del amoníaco (ANEXO E1).

$$P_{A1,abs} = P_{A1,man.} + P_{Atm,Pifo} = 1120\text{Kpa} + 71.8\text{Kpa} = 1191.8 \text{ KPa}$$

$$T_{A1} = T_s @ P_{A1,abs}, = 30.69 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$h_{A1} = h_f @ P_{A1,abs}, = 345.12 \text{ KJ/Kg}$$

Proceso de subenfriamiento A1-A2

El proceso de subenfriamiento sucede en el vaporizador SNAM2000, cuando la temperatura del refrigerante se reduce desde el punto A1 hasta el A2, en este estado el refrigerante líquido está subenfriado por lo que baja la temperatura desde el estado de saturación hasta un máximo de 5° C, aumentando el efecto de refrigeración en el ciclo. El proceso A1-A2 es isobárico y sus propiedades (gráfica P-h anexo E8) son:

$$P_{A2,abs.} = P_{A1} = 1191.8 \text{ KPa}$$

$$T_{A2} = T_{A1} - T_{Sub.} = 30.69 - 5 = 25.69 \text{ } ^\circ\text{C}$$

($T_{Sub.}$ = Temperatura nominal de subenfriamiento el equipo SNAM1000)

$$h_{A1} = h_f @ T_{A2} = 321 \text{ KJ/Kg}$$

Proceso de estrangulación A2-B

El proceso descrito por los puntos estado inicial y final A2-B suceden en la válvula de control del flujo (válvula de expansión) del refrigerante cuando la presión y temperatura del líquido es reducida desde la presión de condensación hasta la presión y temperatura de evaporación. Este proceso es un estrangulamiento, isoentálpico en el cual la entalpía del fluido no cambia de un estado a otro. Como resultado de la vaporización parcial del refrigerante líquido durante el proceso A2-B, el refrigerante en el punto B es una mezcla líquido-vapor cuyas propiedades termodinámicas son:

$$P_{B,abs} = P_{B,man.} + P_{Atm,Pifo} = 164\text{Kpa} + 71.8\text{Kpa} = 235.8 \text{ KPa}$$

$$T_B = T_s @ P_{B,abs}, = -15.05 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_B = h_A = 321 \text{ KJ/Kg}$$

Proceso de evaporización (B-C)

El proceso B-C es la evaporación del refrigerante en el evaporador. Debido a que el proceso se efectúa a presión constante, el proceso B-C es tanto isotérmico como isobárico. En el estado C el refrigerante está en su totalidad como vapor saturado a la temperatura y presión de evaporación. Las propiedades del refrigerante en este punto, se obtienen de las tablas termodinámicas del amoníaco (anexo E1) y son:

$$P_{C,abs} = P_{B,abs} = 235.8 \text{ KPa}$$

$$T_C = T_s @ P_{C,abs}, = -15.05^\circ\text{C}$$

$$h_C = h_g @ P_{C,abs}, = 1444.29 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_C = s_g @ P_{C,abs}, = 5.8298 \text{ KJ/Kg}$$

Proceso de compresión (C-D)

El proceso C-D se efectúa en el compresor SNCM2000 a medida que se incrementa la presión del vapor debido a la compresión desde la presión de evaporación hasta la presión de condensación. Idealmente en un ciclo teórico, el proceso de compresión C-D es isoentrópico. En el estado D. el refrigerante es vapor sobrecalentado cuyas propiedades (anexo E4) son:

$$P_{D,abs} = P_{A1,abs} = 1191.8 \text{ KPa}$$

$$T_D = T_s @ P_{C,abs}, s_D = 100.85 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_D = h_{sob.cal.} @ P_{C,abs}, T_D = 1679.45 \text{ KJ/Kg}$$

($h_{sob.cal.}$ = Entalpia del refrigerante sobrecalentado)

$$s_D = s_C = 5.8298 \text{ KJ/Kg}$$

Proceso de condensación (D-A)

Por lo general, tanto los procesos D-E como E-A1 ocurren en el condensador a medida que el gas caliente descargado del compresor es enfriado hasta la temperatura de condensación (calor sensible) y después condensado (calor latente). Sus propiedades se obtienen de las tablas de saturación del amoníaco (anexo E1).

$$P_{E,abs} = P_{A1,abs} = 1191.8 \text{ KPa}$$

$$T_E = T_s @ P_{E,abs} = 30.69 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_E = h_g @ P_{E,abs} = 1486.50 \text{ KJ/Kg}$$

La tabla N° 4.1 contiene los valores de entalpías en cada uno de los estados del ciclo y el anexo E8 indica el diagrama P-h, para el ciclo ideal.

Tabla N° 4.1 Propiedades del refrigerante en el ciclo teórico

Punto	Presión [KPa]	Temperatura [° C]	Entalpia [KJ/Kg]	Calidad	Condición del refrigerante
A1	1191.8	30.69	345.12	-----	Líquido saturado
A2	1191.8	25.69	321.00	-----	Líquido subenfriado
B	235.8	-15.05	321.00	12.06%	Mezcla líquido vapor
C	235.8	-15.05	1444.29	-----	Vapor saturado
D	1191.8	100.85	1679.45	-----	Vapor sobrecalentado
E	1191.8	30.69	1486.50	-----	Vapor saturado

4.2.1.1 Cálculo del COP en el ciclo teórico de acondicionamiento de aire

El cálculo del coeficiente de operación del ciclo de acondicionamiento del aire, se realiza obteniendo el efecto de refrigeración y el trabajo de compresión, cantidades que se calcula con las ecuaciones 4-2 y 4-3.

Efecto de refrigeración “ q_e ”

$$q_e = h_C - h_B \quad (\text{Ec. 4. 1})$$

$$q_e = 1123.29 [\text{KJ/Kg}]$$

Trabajo de compresión “ w_c ”

$$w_c = h_D - h_C \quad (\text{Ec. 4. 2})$$

$$w_c = 235.16 [\text{KJ/Kg}]$$

Coeficiente de funcionamiento “C.O.P”

$$\text{COP} = \frac{q_e}{w_c} \quad (\text{Ec. 4. 3})$$

$$\text{COP}_{\text{TEÓRICO}} = \frac{1123.29[\text{KJ}/\text{Kg}]}{235.16 [\text{KJ}/\text{Kg}]}$$

$$\text{COP}_{\text{TEÓRICO}} = 4.78$$

4.2.2. CICLO DE REFRIGERACIÓN DE DOS ETAPAS

El ciclo dispone de dos etapas de compresión con interenfriamiento, promoviendo un menor trabajo de los compresores en especial el de alta. El vapor saturado que proviene de los evaporadores de presión media se mezcla en el interenfriador SNAM1000 con el vapor sobrecalentado proveniente del compresor de baja (booster) y la mezcla entra al compresor de alta; esto en esencia es un proceso de regeneración.²¹ Una vez subenfriado el refrigerante en los equipos SNAM3000 y luego en el SNAM1000, se distribuye hacia los evaporadores de media y baja a una misma presión, por lo que el proceso de estrangulación parte del mismo estado para los dos procesos de evaporación, en base a este argumento el ciclo se dividirá en dos de acuerdo a las presiones de evaporación que son media y baja.

Ciclo a presión media de evaporación

Como se indica en el anexo E9 el estado A1 corresponde al proceso de condensación; las propiedades del refrigerante son:

$$P_{A1,abs} = P_{A1,man.} + P_{Atm,Pifo} = 1091\text{Kpa} + 71.8\text{Kpa} = 1162.8 \text{ KPa}$$

$$T_{A1} = T_s @ P_{A1,abs}, = 29.87 \text{ °C}$$

$$h_{A1} = h_f @ P_{a1,abs}, = 341.13 \text{ KJ}/\text{Kg}$$

²¹CENGEL, Termodinámica, 6ta Edición, pp. 634

Primer proceso de subenfriamiento A1 – A2

El primer subenfriamiento sucede en el vaporizador SNAM3000, cuando la temperatura del refrigerante es reducida desde el punto A1 hasta el A2, en este estado el refrigerante líquido es subenfriado 5 °C. El proceso A1 – A2 es isobárico y sus propiedades (gráfica P-h, anexo E9) son:

$$P_{A2,abs.} = P_{A1,abs} = 1162.8 \text{ KPa}$$

$$T_{A2} = T_{A1} - T_{Sub.} = 29.87 - 5 = 24.87 \text{ °C}$$

$$h_{A1} = h_f @ T_{A2} = 317.05 \text{ KJ/Kg}$$

Segundo proceso de subenfriamiento A2 – A3

Luego del estado A2, el refrigerante va a la segunda etapa de subenfriamiento. Este proceso sucede en el vaporizador SNAM1000 y la temperatura del refrigerante se reduce desde el punto A2 hasta el A3, reduciéndose un total de 10 °C a partir de la temperatura de saturación. El proceso A2– A3 es isobárico y sus propiedades (gráfica P-h anexo E9) son:

$$P_{A3,abs.} = P_{A1,abs} = 1162.8 \text{ KPa}$$

$$T_{A3} = T_{A2} - T_{sub.2} = 24.87 - 5 = 19.87 \text{ °C}$$

$$h_{A3} = h_f @ T_{A3} = 293.16 \text{ KJ/Kg}$$

Proceso de estrangulación hasta la presión media A2 – B2

El proceso se da en la válvula de control del flujo del refrigerante cuando la presión y temperatura del líquido subenfriado disminuye desde la presión del estado A3, hasta la presión media de evaporización. El proceso idealmente es, isoentálpico. Resultando en B una mezcla líquido-vapor cuyas propiedades termodinámicas son:

$$P_{B2,abs} = P_{B2,man.} + P_{Atm,Pifo} = 177 + 71.8 = 248.8 \text{ KPa}$$

$$T_{B2} = T_s @ P_{B2,abs}, = -13.77 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$h_{B2} = h_{A3} = 293.16 \text{ KJ/Kg}$$

Proceso de evaporización a presión media B2 – D2

El proceso B2 – D2 se efectúa a temperatura y presión media, el proceso B2 – D2 es isotérmico e isobárico. Idealmente en el estado D2 el refrigerante es un vapor saturado. Las propiedades en este punto se obtienen de las tablas termodinámicas del amoníaco y son:

$$P_{D2,abs.} = P_{B2,abs.} = 248.8 \text{ KPa}$$

$$T_{D2} = T_s @ P_{D2,abs.}, = -13.77 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$h_{D2} = h_g @ P_{D2,abs.}, = 1445.95 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_{D2} = s_g @ P_{D2,abs.}, = 5.8110 \text{ KJ/Kg}$$

Proceso de compresión segunda etapa (D2- E)

El proceso D2- E se efectúa en el compresor SNCM1000 y corresponde a la segunda etapa de compresión del ciclo. Idealmente el refrigerante se comprime de forma isoentrópica. En el estado E se dispone de vapor sobrecalentado cuyas propiedades (anexo E4) son:

$$P_{E,abs.} = P_{A1,abs.} = 1162.8 \text{ KPa}$$

$$T_E = T_s @ P_{E,abs.}, s_E = 96.18 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$h_E = h_{sob.cal.} @ P_{E,abs.}, T_E = 1668.58 \text{ KJ/Kg}$$

($h_{sob.cal.}$ = Entalpía del refrigerante sobrecalentado)

$$s_E = s_{D2} = 5.8110 \text{ KJ/Kg}$$

Proceso de condensación (E-A)

El estado F representa el punto de saturación del refrigerante a la presión y temperatura de condensación por lo tanto la entalpía en este punto es

$$h_F = h_g @ P_{E,abs} = 1486.1 \text{ KJ/Kg}$$

Ciclo a presión baja de evaporación

Al dividir el ciclo de dos etapas en ciclos a presiones media y baja, los procesos que faltarían son:

Proceso de estrangulación hasta la presión baja A₃– B₁

El proceso sucede cuando la presión y temperatura del líquido subenfriado se reduce desde el estado A₃ hasta la presión baja de evaporización. El proceso ideal es, isoentálpico. El resultado en B₁ es una mezcla líquido-vapor cuyas propiedades termodinámicas son:

$$P_{B1,abs} = P_{B1,man.} + P_{Atm,Pifo} = 53 + 71.8 = 124.8 \text{ KPa}$$

$$T_{B1} = T_s @ P_{B1,abs} = -29.11^\circ\text{C}$$

$$h_{B1} = h_{A3} = 293.16 \text{ KJ/Kg}$$

Proceso de evaporización a presión baja B₁ – C

El proceso B₁ – C es la evaporización del refrigerante a presión baja. El proceso es isotérmico e isobárico. Idealmente en el punto C el refrigerante es un vapor saturado. Las propiedades en este punto son:

$$P_{C,abs.} = P_{B1,abs.} = 124.8 \text{ KPa}$$

$$T_C = T_s @ P_{C,abs.} = -29.11^\circ\text{C}$$

$$h_C = h_g @ P_{C,abs.} = 1424.63 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_C = s_g @ P_{C,abs.} = 6.05 \text{ KJ/Kg}$$

Proceso de compresión primera etapa (C- D₁)

El proceso C-D₁ se efectúa en el compresor SNCM3000. Idealmente en un ciclo de dos etapas, este proceso es isoentrópico. El estado D₁ es vapor sobrecalentado cuyas propiedades (Anexo E4) son:

$$P_{D1,abs.} = P_{B2,abs} = 248.8 \text{ KPa}$$

$$T_{D1} = T_s @ P_{D1,abs.}, s_C = 13.4 \text{ °C}$$

$$h_{D1} = h_{sob.cal.} @ P_{D1,abs.}, T_{D1} = 1510.7 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_{D1} = s_C = \mathbf{6.05 \text{ KJ/Kg}}$$

La tabla N° 4.2 indica los resultados de cada uno de los estados del ciclo y la gráfica p-h del amoníaco indica los anexos E9 y E10

Tabla N° 4.2 Propiedades del refrigerante en el ciclo ideal

Punto	Presión [KPa]	Temperatura [° C]	Entalpia [KJ/Kg]	Calidad	Condición del refrigerante
A1	1162.8	29.87	341.13	-----	Líquido saturado
A2	1162.8	24.87	317.05	-----	Líquido subenfriado 1
A3	1162.8	19.87	293.16	-----	Líquido subenfriado 2
B1	124.8	-29.11	293.16	15.12%	Mezcla líquido vapor
B2	248.8	-13.77	293.16	9.88%	Mezcla líquido vapor
C	124.8	-29.11	1424.63	-----	Vapor saturado
D1	248.8	13.37	1510.71	-----	Vapor sobrecalentado
D2	248.8	-13.77	1445.95	-----	Vapor saturado
E	1162.8	96.18	1668.58	-----	Vapor sobrecalentado
F	1162.8	29.87	1486.10	-----	Vapor saturado

En base a la tabla los estados correspondientes al ciclo de evaporación a presión media son: A1, A2, A3, B2, D2, E, F; y para el ciclo de evaporación a presión baja son: A1, A2, A3, B1, C, D1, D2, E, F.

4.2.2.1. Cálculo del COP en el ciclo ideal de dos etapas

Para calcular el coeficiente de operación del sistema de refrigeración, se inicia obteniendo el efecto de refrigeración en cada etapa de evaporación, después se calcula el trabajo de compresión en la primera y segunda etapa.

Ciclo a presión media de evaporación

Efecto de refrigeración a la presión media q_{e1}

$$q_{e1} = h_{D2} - h_{B2}$$

$$q_{e1} = 1152.78 \text{ [KJ/Kg]}$$

Trabajo de compresión en la segunda etapa w_{c2}

$$w_{c2} = h_E - h_{D2}$$

$$w_{c2} = 222.6 \text{ [KJ/Kg]}$$

Coeficiente de funcionamiento COP a presión de evaporación media

$$\text{COP} = \frac{q_{e1}}{w_{c2}}$$

$$\text{COP}_{TEÓRICO} = \frac{1152.78[\text{KJ/Kg}]}{222.6[\text{KJ/Kg}]}$$

$$\text{COP}_{TEÓRICO} = 5.18$$

Ciclo a presión baja de evaporación

Efecto de refrigeración a la presión baja q_{e2}

$$q_{e2} = h_C - h_{B1}$$

$$q_{e2} = 1131.47[\text{KJ}/\text{Kg}]$$

Trabajo de compresión en la primera etapa w_{c1}

$$w_{c1} = h_{D1} - h_C$$

$$w_{c1} = 86.08 [\text{KJ}/\text{Kg}]$$

Trabajo de compresión total

$$w_{cTOTAL} = w_{c1} + w_{c2} \quad (\text{Ec. 4. 4})$$

$$w_{cTOTAL} = 308.71[\text{KJ}/\text{Kg}]$$

Coefficiente de funcionamiento C.O.P a presión de evaporación baja

$$\text{COP} = \frac{q_{e2}}{w_{cTOTAL}} \quad (\text{Ec. 4. 5})$$

$$\text{COP}_{TEÓRICO} = \frac{1131.47[\text{KJ}/\text{Kg}]}{308.7[\text{KJ}/\text{Kg}]}$$

$$\text{COP}_{TEÓRICO} = 3.67$$

4.3ANÁLISIS DE LOS CICLOS IDEALES CON REFRIGERANTES HALOCARBUIROS

Por ser un ciclo de compresión de vapor los procesos termodinámicos de un ciclo ideal con halocarburos son similares a los de amoniaco. Para visualizar gráficamente se emplean los datos que indica la tabla N° 3.18 y los diagramas p-h (anexo E11 al E17) de los dos refrigerantes halocarburos: el R-22 y R- 507.

4.3.1. CICLO CON REFRIGERANTE HALOCARBURO

La unidad condensadora conectada a los evaporadores CTE09000 y CTE19000 presenta el estado A como refrigerante a temperatura y presión de condensación, aquí el refrigerante esta como líquido saturado. Las propiedades en este punto se obtiene de las tablas termodinámicas del refrigerante R-22 (anexo E2).

$$P_{A,abs} = P_{A,man.} + P_{Atm,Pifo} = 1283.3 + 71.8 = 1355.1 \text{ KPa}$$

$$T_A = T_s @ P_{A,abs}, = 35^\circ\text{C}$$

$$h_A = h_f @ P_{A,abs}, = 243.1 \text{ KJ/Kg}$$

Proceso de estrangulamiento A-B

En este proceso el refrigerante líquido saturado en el punto A se estrangula hasta la presión del evaporador al pasarlo por la válvula de control del refrigerante. La temperatura del refrigerante desciende desde el punto A hasta el B durante este proceso. Las propiedades en el punto B se las encuentra en el anexo E2 y son:

$$P_{A,abs} = P_{A,man.} + P_{Atm,Pifo} = 129.8 + 71.8 = 201.6 \text{ KPa}$$

$$T_B = T_s @ P_{B,abs}, = -25^\circ\text{C}$$

$$h_B = h_A = 243.1 \text{ KJ/Kg}$$

Proceso de evaporación B-C

El refrigerante ingresa al evaporador como un vapor húmedo de baja calidad y se evapora por completo. El refrigerante en el punto C sale del evaporador como vapor saturado. Las propiedades termodinámicas son:

$$P_C = P_B = 201.6 \text{ KPa}$$

$$T_C = T_s @ P_{C,abs}, = -25^\circ\text{C}$$

$$h_C = h_g @ P_{C,abs}, = 394.91 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_C = s_g @ P_{C,abs}, = 1.7918 \text{ KJ}/(\text{Kg} * \text{K})$$

Proceso de compresión C-D

El refrigerante entra al compresor como vapor saturado (punto C) y se comprime isotrópicamente hasta la presión de condensación. Las propiedades en el estado D son:

$$P_{D,abs.} = P_{A,abs.} = 1355.1 \text{ KPa}$$

$$T_{D@P_{D,abs.}} = 67 \text{ °C} \quad \text{Fuente tabla N° 3.18 (Temperatura de descarga)}$$

$$h_D = h_{sob.cal. @T_D} = 443.38 \text{ KJ/Kg} \quad \text{Anexos E6 y E7}$$

$$s_D = s_C = 1.7918 \text{ KJ/(Kg * K)}$$

Proceso de condensación D-A

El refrigerante ingresa al condensador en el estado D y sale como líquido saturado en el punto A. Las propiedades en este estado son:

$$P_{E,abs.} = P_{A,abs.} = 13351.1 \text{ Kpa}$$

$$T_E = T_s @ P_{E,abs.} = 35 \text{ °C} \quad \text{Temperatura de saturación}$$

$$h_E = h_g @ P_{E,abs.} = 415.34 \text{ KJ/Kg}$$

Las tablas N° 4.3, 4.4 y 4.5 indican las propiedades termodinámicas de los equipos que trabajan con R-22 y las tablas N° 4.6, 4.7, 4.8 y 4.9 de los equipos que trabajan con refrigerante R-507, cada punto se analizó como un ciclo ideal en las gráficas p-h que se encuentran del anexo E11 al E17.

4.3.1.1 Propiedades en los ciclos con refrigerante R-22

Tabla N° 4.3 Propiedades del refrigerante en el ciclo teórico (evaporadores CTE09000 y CTE19000)

Punto	Presión [KPa]	Temperatura [° C]	Entalpia [KJ/Kg]	Calidad	Condición del refrigerante
A	1355,1	35	243,075	-----	Líquido saturado
B	201,6	-25	243,075	12,65%	Mezcla líquido vapor
C	201,6	-25	394,91	-----	Vapor saturado
D	1355,1	67	443,5	-----	Vapor sobrecalentado
E	1355,1	35	415,34	-----	Vapor saturado

Tabla N° 4.4 Propiedades del refrigerante en el ciclo teórico (evaporador CTE11000)

Punto	Presión [KPa]	Temperatura [° C]	Entalpia [KJ/Kg]	Calidad	Condición del refrigerante
A	1355,1	35	243,1	-----	Líquido saturado
B	438	-3,89	243,1	7,97%	Mezcla líquido vapor
C	438	-3,89	403,9	-----	Vapor saturado
D	1355,1	54	432,5	-----	Vapor sobrecalentado
E	1355,1	35	415,3	-----	Vapor saturado

Tabla N° 4.5 Propiedades del refrigerante en el ciclo teórico (evaporadores FA-EV033 y FA-EV034)

Punto	Presión [KPa]	Temperatura [° C]	Entalpia [KJ/Kg]	Calidad	Condición del refrigerante
A	1262,5	32,3	239,5	-----	Líquido saturado
B	463,4	-2,2	239,5	7,00%	Mezcla líquido vapor
C	463,4	-2,2	404,2	-----	Vapor saturado
D	1262,5	49,5	430	-----	Vapor sobrecalentado
E	1262,5	32,2	414,8	-----	Vapor saturado

4.3.1.2 Propiedades en los ciclos con refrigerante R-507

Tabla N° 4.6 Propiedades del refrigerante en el ciclo teórico (evaporadores HN001000)

Punto	Presión [KPa]	Temperatura [° C]	Entalpia [KJ/Kg]	Calidad	Condición del refrigerante
A	.302	48,89	275,03	-----	Líquido saturado
B	534	-5	275,03	14,82%	Mezcla líquido vapor
C	534	-5	358,96	-----	Vapor saturado
D	2302	56,5	386,5	-----	Vapor sobrecalentado
E	2302	48,89	376,26	-----	Vapor saturado

Tabla N° 4.7 Propiedades del refrigerante en el ciclo teórico (evaporadores HN002000)

Punto	Presión [KPa]	Temperatura [° C]	Entalpia [KJ/Kg]	Calidad	Condición del refrigerante
A	2302	48,89	275,03	-----	Líquido saturado
B	573	-2,78	275,03	14,20%	Mezcla líquido vapor
C	573	-2,78	359,97	-----	Vapor saturado
D	2302	56,5	386,6	-----	Vapor sobrecalentado
E	2302	48,89	376,26	-----	Vapor saturado

Tabla N° 4.8 Propiedades del refrigerante en el ciclo teórico (evaporadores PNEN1000)

Punto	Presión [KPa]	Temperatura [° C]	Entalpia [KJ/Kg]	Calidad	Condición del refrigerante
A	2359	50	277	-----	Líquido saturado
B	487	-7,7	277	16,01%	Mezcla líquido vapor
C	487	-7,7	357,5	-----	Vapor saturado
D	2359	57,8	388	-----	Vapor sobrecalentado
E	2359	50	376,22	-----	Vapor saturado

Tabla N° 4.9 Propiedades del refrigerante en el ciclo teórico (evaporadores CTE0A000)

Punto	Presión [KPa]	Temperatura [° C]	Entalpia [KJ/Kg]	Calidad	Condición del refrigerante
A	2302	48,89	275,03	-----	Líquido saturado
B	310	-20,56	275,03	19,57%	Mezcla líquido vapor
C	310	-20,56	350,63	-----	Vapor saturado
D	2302	57,8	389,5	-----	Vapor sobrecalentado
E	2302	48,89	376,26	-----	Vapor saturado

4.3.1.3 Cálculo del COP en el ciclo teórico con refrigerante halocarburo

El coeficiente de operación del ciclo teórico con las propiedades de la tabla N° 4.3, se establece de la misma manera que para el amoniaco por lo que emplean las ecuaciones 4-2, 4-3 y 4-4 respectivamente:

La tabla N°4.10 resume los COP's calculados en cada uno de los ciclos que emplean refrigerante R-22 y R-507.

Tabla N° 4.10 Coeficientes de desempeño en un ciclo teórico para los equipos con halocarburos.

Refrigerante	Evaporador	COP ideal
R-22	CTE0 9000	3,12
	CTE1 9000	
	CTE1 1000	5,62
	FA - EV033	6,38
	FA - EV034	
R-507	HN00 1000	3,05
	HN00 2000	3,19
	PNEN 1000	2,64
	CTE0 A000	1,94

Como se observa en la tabla N° 4.10 de resultados los valores de los COP's para los ciclos con refrigerante R-22, el mayor valor corresponde al unidad de los

evaporadores FA-EV033 Y FA-EV034 con 6.38, el menor a unidad de los evaporadores CTE0 9000 y CTE19000 con 3.12. Para los equipos que trabajan con refrigerante R-507 el menor valor corresponde a la unidad del evaporador CTE0A000 con 1.94 y el de mayor valor a la unidad condensadora del evaporador HN002000.

4.4ANÁLISIS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN COMO UN CICLO REAL

Aquí se analizarán únicamente los ciclos con amoníaco como refrigerante debido a que los equipos son los más representativos del sistema. Para el análisis como un ciclo real se ha elaborado esquemas del sistema de refrigeración (anexoE13 y E14). Los ciclos reales de refrigeración divergen el algo del ciclo ideal, debido a que en el ideal, se desprecia la caída de presión que experimenta el fluido al paso por tuberías, evaporador, condensador; mientras que en el real no se desprecian.

4.4.1 CICLO DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE

Para describir el estado A₁, se mide la temperatura del refrigerante a la salida del proceso de condensación, obteniéndose un valor promedio de 27 °C. Las propiedades (anexo E4) se las obtiene de las tablas termodinámicas.

$$T_{A1} = 27 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P_{A1,abs} = P_{A1}@ T_{A1} = 1066.9 \text{ KPa}$$

$$h_{A1} = h_f @T_{A1} = 327.28 \text{ KJ/Kg}$$

Para ubicar el estado A₂ se mide la temperatura a la salida del serpentín del SNAM2000 obteniéndose un valor promedio de 22.5 °C, es decir el equipo subenfía el refrigerante 4.5 ° C desde el estado A₁.

$$T_{A2} = 22.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$h_{A2} = h_f @T_{A2} = 305.7 \text{ KJ/Kg}$$

Para ubicar el estado Bse considera una entalpía igual a la del estado A2, aquí se tiene una mezcla saturada, a la temperatura de evaporación media, cuyo valor promedio es $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$T_B = -11\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P_{B,abs} = P_B @ T_B = 279.15\text{ KPa}$$

$$h_B = h_{A2} = 305.7\text{ KJ/Kg}$$

De la tabla N° 3.7, el estado C1 representa los valores de las válvulas reguladoras de presión a la salida de los evaporadores.

$$P_{C1,abs} = P_{C1,man.} + P_{Atm,Pifo} = 185 + 71.8 = 256.8\text{ KPa}$$

$$T_{C1} = T_{C1} @ P_{C1,abs.} = -13\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$h_{C1} = h_g @ P_{C1,abs.} = 1446.92\text{ KJ/Kg}$$

Los estados C y Dse describen empleando la presión y temperatura en la succión y descarga del compresor, valores que indica la tabla N° 3.17.

$$P_{C,abs} = P_{C,man.} + P_{Atm,Pifo} = 164 + 71.8 = 235.8\text{ KPa} \quad \text{Presión de succión}$$

$$T_C = T_{succión.} = -6.6\text{ }^{\circ}\text{C} \quad \text{Temperatura de succión}$$

$$h_C = h_{sob.cal.} @ T_C = 1464.87\text{ KJ/Kg} \quad \text{Anexos E4 y E5}$$

$$P_{D,abs} = P_{D,man.} + P_{Atm,Pifo} = 1120 + 71.8 = 1191.8\text{ KPa} \quad \text{Presión de descarga}$$

$$T_D = T_{Descarga} = 114.78\text{ }^{\circ}\text{C} \quad \text{Temperatura de descarga}$$

$$h_D = h_{sob.cal.} @ T_D = 1709.71\text{ KJ/Kg} \quad \text{Anexos E4 y E5}$$

La tabla N° 4.11 resume los datos calculados en el análisis real de este ciclo y el anexo E18 indica la gráfica P-h del ciclo real

Tabla N° 4.11 Propiedades del refrigerante en el ciclo real de acondicionamiento de aire.

Punto	Presión [KPa]	Temperatura [° C]	Entalpia [KJ/Kg]	Calidad	Condición del refrigerante
A1	1066.9	27.0	327.28	-----	Líquido saturado
A2	1066.9	22.5	305.70	-----	Líquido subenfriado
B	279.2	-11.00	305.70	9.8%	Mezcla líquido vapor
C1	256.8	-13.00	1446.92	-----	Vapor saturado
C	235.8	-6.6	1464.87		Vapor sobrecalentado
D	1191.8	114.78	1714.81	-----	Vapor sobrecalentado

4.4.1.1 Cálculo del COP en el ciclo real de acondicionamiento de aire

Efecto de refrigeración “ q_e ”

$$q_e = h_{C1} - h_B$$

$$q_e = 1141.22 \text{ [KJ/Kg]}$$

Trabajo de compresión “ w_c ”

$$w_c = h_D - h_{C2}$$

$$w_c = 249.94 \text{ [KJ/Kg]}$$

Coeficiente de funcionamiento “C.O.P”

$$\text{COP} = \frac{q_e}{w_c}$$

$$\text{COP}_{REL} = \frac{1141.22 \text{ [KJ/Kg]}}{249.94 \text{ [KJ/Kg]}}$$

$$\text{COP}_{REAL} = 4.57$$

4.4.2 CICLO DE REFRIGERACIÓN DE DOS ETAPAS

Ciclo a presión media de evaporación

Para encontrar el estado A1 se mide la temperatura del refrigerante luego del proceso de condensación, obteniéndose un valor promedio de 26.5 °C, en este punto el refrigerante esta como líquido saturado.

$$T_{A1} = 26.5 \text{ °C}$$

$$P_{A1,abs} = P_{A1} @ T_{A1} = 1050.7 \text{ KPa}$$

$$h_{A1} = h_f @ T_{A1} = 324.88 \text{ KJ/Kg}$$

El estado A2 describe el primer subenfriamiento, para hallarlo se mide la temperatura a la salida del serpentín del equipo SNAM3000, obteniéndose un valor promedio de 22.2 °C por lo que se ha subenfriado 4.3 °C desde A1.

$$T_{A2} = 22.2 \text{ °C}$$

$$h_{A2} = h_f @ T_{A2} = 304.27 \text{ KJ/Kg}$$

En el estado A3 el refrigerante es subenfriado por segunda vez, la temperatura medida promedio a la salida del SNAM1000 es 17.6°C, por lo que el equipo subenfriaría 4.6 °C desde A2.

$$T_{A3} = 17.6 \text{ °C}$$

$$P_{A3,abs} = P_{A3} @ T_{A3} = \text{KPa}$$

$$h_{A3} = h_f @ T_{A3} = 282.39 \text{ KJ/Kg}$$

El estado B2 tiene igual entalpía que el estado A3; presenta un valor promedio de temperatura de -13 °C, valor que se toma a la salida de la válvula de expansión (válvula de control de refrigerante) correspondiente al punto de inicio de la evaporación a presión media.

$$T_{B2} = -13 \text{ °C}$$

$$h_{B2} = h_{A3} = 282.39 \text{ KJ/Kg}$$

Para describir al estado D2 se toman los datos obtenidos de las válvulas reguladoras de presión a la salida de evaporadores a presión media, estos valores indican la tabla N° 3.17.

$$P_{D2,abs} = P_{D2,man.} + P_{Atm,Pifo} = 158 + 71.8 = 229.8 \text{ KPa}$$

$$T_{D2} = T_S @ P_{D2,abs.} = -15.7 \text{ °C}$$

$$h_{D2} = h_f @ P_{D2,abs.} = 1443.5 \text{ KJ/Kg}$$

Los estado D3 y E se establecen empleando los valores de presión y temperatura en la succión y descarga, del compresor de segunda etapa.

$$P_{D3,abs} = P_{D3,man.} + P_{Atm,Pifo} = 156 + 71.8 = 227.8 \text{ KPa} \quad \text{Presión de succión}$$

$$T_{D3} = T_{succión} = -6.7 \text{ °C} \quad \text{Temperatura de succión}$$

$$h_{D3} = h_{sob.cal.} @ T_{D3} = 1465.12 \text{ KJ/Kg} \quad \text{Anexos E4 y E5}$$

$$P_{E,abs} = P_{E,man.} + P_{Atm,Pifo} = 1091 + 71.8 = 1162.8 \text{ KPa} \quad \text{Presión de descarga}$$

$$T_E = T_{descarga} = 108.2 \text{ °C} \quad \text{Temperatura de descarga}$$

$$h_E = h_{sob.} @ T_E = 1698.98 \text{ KJ/Kg} \quad \text{Anexos E4 y E5}$$

Ciclo a presión baja de evaporación

De la medición realizada, el estado B1 tiene una entalpía igual al estado B3 y una temperatura promedio de -26 °C, valor obtenido en la salida de la válvula de control del refrigerante e inicio de la evaporación a presión baja.

$$T_{B1} = -26 \text{ °C}$$

$$h_{B1} = h_f @ T_{B1} = 282.39 \text{ KJ/Kg}$$

Para ubicar el estado C1, se emplea los datos tomados en las válvulas reguladoras de presión a la salida de los evaporadores a presión baja.

$$P_{C1,abs} = P_{C1,man.} + P_{Atm,Pifo} = 57 + 71.8 = 128.92 \text{ KPa}$$

$$T_{C1} = T_S @ P_{C1,abs.} = -28^\circ \text{ C}$$

$$h_{C1} = h_f @ P_{C1,abs.} = 1425.6 \text{ KJ/Kg}$$

Los estados C2 y D1 se ubican en el diagrama P-h (anexo E20) utilizando los valores de presión y temperatura, en la succión y descarga del compresor de primera etapa.

$$P_{C2,abs} = P_{C2,man.} + P_{Atm,Pifo} = 53 + 71.8 = 124.8 \text{ KPa} \quad \text{Presión de succión}$$

$$T_{C2} = T_{succión} = -6.6^\circ \text{ C} \quad \text{Temperatura de succión}$$

$$h_{C2} = h_{sob.cal.} @ T_{C2} = 1475.73 \text{ KJ/Kg} \quad \text{Anexos E4 y E5}$$

$$P_{D1,abs} = P_{D1,man.} + P_{Atm,Pifo} = 177 + 71.8 = 248.8 \text{ KPa} \quad \text{Presión de descarga}$$

$$T_{D1} = T_{descarga} = 59.73^\circ \text{ C} \quad \text{Temperatura de descarga}$$

$$h_{D1} = h_{sob.} @ T_{D1} = 1615.84 \text{ KJ/Kg} \quad \text{Anexos E4 y E5}$$

La tabla N° 4.12 resume todas las propiedades del refrigerante en los ciclos de refrigeración de dos etapas, mientras que los anexos E19 y E20 indican los diagramas reales en cada ciclo.

Tabla N° 4.12 Propiedades del refrigerante en el ciclo real de refrigeración de dos etapas

Punto	Presión [KPa]	Temperatura [° C]	Entalpia [KJ/Kg]	Calidad	Condición del refrigerante
A1	1050,7	26,50	324,88	-----	Líquido saturado
A2	1050,7	22,20	304,27	-----	Líquido subenfriado 1
A3	1050,7	17,60	282,39	-----	Líquido subenfriado 2
B1	144,57	-26,00	282,39	13,3%	Mezcla líquido vapor
B2	257,1	-13,00	282,39	8,95%	Mezcla líquido vapor
C1	128,92	-28,00	1425,60	-----	Vapor saturado
C2	124,8	-6,60	1475,73	-----	Vapor sobrecalentado
D1	248,8	59,73	1615,84	-----	Vapor sobrecalentado
D2	229,8	-15,66	1443,50	-----	Vapor saturado
D3	227,8	-6,74	1465,16	-----	Vapor sobrecalentado
E	1162,8	108,20	1698,98	-----	Vapor sobrecalentado

4.4.2.1 Cálculo del COP en el ciclo real de refrigeración de dos etapas

Ciclo a presión media de evaporación

Efecto de refrigeración a la presión media q_{e1}

$$q_{e1} = h_{D2} - h_{B2}$$

$$q_{e1} = 1161.11 [\text{KJ/Kg}]$$

Trabajo de compresión en la segunda etapa w_{c2}

$$w_{c2} = h_E - h_{D3}$$

$$w_{c2} = 233.81 [\text{KJ/Kg}]$$

Coeficiente de funcionamiento C.O.P a presión de evaporación media

$$\text{COP} = \frac{q_{e1}}{w_{c2}}$$

$$\text{COP}_{\text{TEÓRICO}} = \frac{1161.1 [\text{KJ/Kg}]}{233.8 [\text{KJ/Kg}]}$$

$$\text{COP}_{\text{TEÓRICO}} = 4.97$$

Ciclo a presión baja de evaporación

Efecto de refrigeración a la presión baja q_{e2}

$$q_{e2} = h_C - h_{B1}$$

$$q_{e2} = 1143.21 [\text{KJ/Kg}]$$

Trabajo de compresión en la primera etapa w_{c1}

$$w_{c1} = h_{D1} - h_c$$

$$w_{c1} = 140.11 \text{ [KJ/Kg]}$$

Trabajo de compresión total

$$w_{cTOTAL} = w_{c1} + w_{c2}$$

$$w_{cTOTAL} = 373.92 \text{ [KJ/Kg]}$$

Coefficiente de funcionamiento C.O.P a presión de evaporación baja

$$COP = \frac{q_{e2}}{w_{cTOTAL}}$$

$$COP_{TEÓRICO} = \frac{1143.21 \text{ [KJ/Kg]}}{373.92 \text{ [KJ/Kg]}}$$

$$COP_{TEÓRICO} = 3.06$$

4.4.3 RELACIÓN ENTRE EL COP TEÓRICO Y EL COP REAL

La relación entre el COP_{REAL} y el $COP_{TEÓRICO}$ se denomina eficiencia del refrigerante, este factor se analizará en los dos ciclos de amoníaco, se calcula mediante la expresión:

$$\eta_R = \frac{COP_{REAL}}{COP_{TEORICO}} \quad (\text{Ec. 4. 6})$$

Ciclo de acondicionamiento de aire

$$COP_{REAL} = 4.57$$

$$COP_{TEORICO} = 4.78$$

$$\eta_R = \frac{4.57}{4.78}$$

$$\eta_R = 0.956$$

Ciclo de refrigeración de dos etapas

Evaporación a presión media

$$\text{COP}_{\text{REAL}} = 4.97$$

$$\text{COP}_{\text{TEORICO}} = 5.18$$

$$\eta_R = \frac{4.97}{5.18}$$

$$\eta_R = 0.959$$

Evaporación a presión baja

$$\text{COP}_{\text{REAL}} = 3.06$$

$$\text{COP}_{\text{TEORICO}} = 3.67$$

$$\eta_R = \frac{3.06}{3.67}$$

$$\eta_R = 0.834$$

Un valor de η recomendado para el amoníaco es de 0.83.²² En el ciclo de acondicionamiento de aire el valor calculado de eficiencia del refrigerantees mayor al recomendado.

En el caso del ciclo de dos etapas el valor calculado de la eficiencia del refrigerante, a presión media de evaporación sobrepasa el recomendado, mientras que a presión baja de evaporación el valor es igual.

Con las afirmaciones anteriores se concluye que en los ciclos de amoníaco el refrigerante trabaja eficientemente.

²² CONAE, Comisión Nacional para el ahorro de energía

Sin embargo al comparar los diagramas P-h elaborados con los del diseño inicial (anexo A), se pueden observar puntos de ajuste inadecuados como las temperaturas y presiones de succión y descarga en los compresores, parámetros que ocasionan deficiencias mecánicas en los componentes del sistema. Con un análisis del estado de estos desperfectos pueden mejorarse y así optimizarse los procesos de refrigeración

4.5 ANÁLISIS DE GANANCIAS DE CALOR EN LAS CÁMARAS DE REFRIGERACIÓN INSPECCIONADAS MEDIANTE TERMOGRAFÍA

Las zonas calientes observadas en las pruebas se deben a dos causas: 1) variaciones de temperatura debido a un mal aislamiento térmico en las uniones entre paneles y 2) por infiltración de aire externo en las mismas. La figura N° 4.3 muestra gráficamente como fluye el calor en las zonas calientes, debido al mal aislamiento.

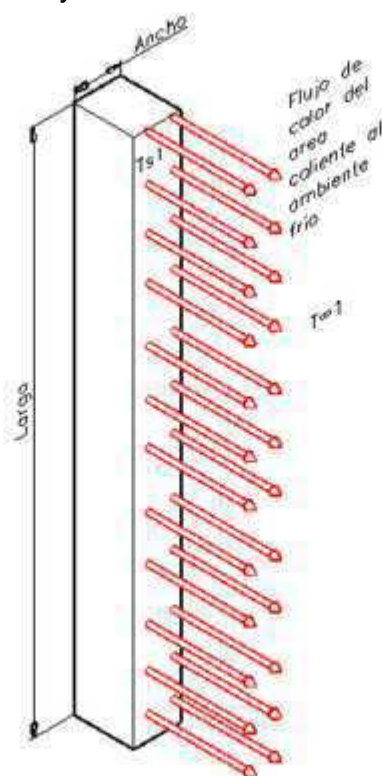


Figura N° 4.3 Flujo de calor de las zonas calientes al ambiente refrigerado en el interior de la cámara.

Según el informe preliminar del proyecto se identificó dos situaciones importantes del movimiento del aire en las zonas calientes. En las cámaras CN00A000 y almacenamiento temporal de jamones, el aire no fluye, mientras que en el resto de las cámaras el aire fluye es decir tiene cierta velocidad

4.5.1 FLUJO DE CALOR EN ZONAS CALIENTES DE LA CÁMARA CN00A000

Para el cálculo se emplea: el termograma N° 12 (anexo D) que indica la temperatura promedio de la superficie del panel T_2 igual a 8.8 °C; la temperatura promedio del ambiente refrigerado igual a -2.9 °C (tabla N° 3.19) y el fluido al que se transfiere el calor es aire. Todas estas propiedades indica la tabla N° 4.13

Tabla N° 4.13 Propiedad de la zona 7-7' de la cámara CN00A000

Fotografía N°	12	
Zona	7-7'	
Sistema de unidades	SI	Ingles
L= Largo zona caliente (Tabla N° 3.19)	1.2 m	6.56 ft
a=Ancho promedio zona caliente (Tabla N° 3.19)	0.006 m	0.01941 ft
A= Área zona caliente	0.0072 m ²	0.1273 ft ²
T_2 = Temperatura de la zona caliente (Tabla N° 3.20)	8.8 ° C	47.8 ° F
T_1 = Temperatura del ambiente refrigerado (Tabla N° 3.20)	-2.9° C	26.8 ° F
ΔT = Diferencia de temperatura	11.7 ° C	21.1 ° F

Para calcular el flujo de calor se emplea la ecuación conocida como ley enfriamiento de Newton.²³ Se considera que el aire permanece sin movimiento, presentándose un fenómeno de convección natural

$$q = h * A * \Delta T = \left[\frac{\text{Btu}}{\text{h}} \right] \quad (\text{Ec. 4. 7})$$

Si $A = L * a$ en la anterior ecuación se tiene que:

$$q = h * L * a * \Delta T \left[\frac{\text{Btu}}{\text{h}} \right]$$

Considerando que el aire está a velocidad baja en el interior de la cámara la ASHRAE recomienda utilizar un valor para el coeficiente de transferencia de calor por convección "h" igual a $9.37 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}} \right]$ ó $1.65 \left[\frac{\text{Btu/h}}{\text{ft}^2 * ^\circ\text{F}} \right]$.

Reemplazando los datos de la tabla N° 4.13 y el valor de "h" en la ecuación 4.7 se encuentra el valor de "q"

$$q = 1.65 * 6.56 * 0.01941 * 21.1$$

$$q = 4.426 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}$$

El valor de "q" al sistema internacional de medidas se tiene que:

$$q = 4.426 \frac{\text{Btu}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ kW}}{3412.14 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}}$$

$$q = 0.00130 \text{ kW}$$

La tabla N° 4.14 indica los resultados parciales de flujos de calor por zonas calientes en la cámara CN00A000 y cámara temporal de almacenamiento de jamones. El resultado total indica la tabla N° 4.15.

²³ INCROPERA, Frank, Fundamentos transferencia de calor, pp, 8

Tabla N° 4.14 Resultados parciales de los flujos de calor de la cámara CN00A000 y en la cámara temporal de almacenamiento de jamones por zonas calientes

Cámara	Zonas	Fotografía N°	Largo [ft]	Ancho [ft]	Área [ft²]	T1 [°F]	T2 [°F]	T2-T1 [°C]	h [Btu/h*ft²*°F]	Flujo de calor q [btu/h]	Flujo de calor q [kW]
CN00A000	7-7'	12	6,56	0,0194	0,1274	27	48	21	1,650	4,426	0,00130
	10-10'	6	4,92	0,01941	0,0955	27	34	7	1,650	1,135	0,00033
	13-13'	11	6,56	0,01941	0,1274	27	37	10	1,650	2,156	0,00063
	16-16'	15	4,92	0,01941	0,0955	27	44	17	1,650	2,752	0,00081
	6-6'	5	1,64	0,01941	0,0318	27	47	20	1,650	1,050	0,00031
	9-9'	7	6,56	0,01941	0,1274	27	47	21	1,650	4,313	0,00126
	12-12'	10	9,84	0,01941	0,1911	27	39	12	1,650	3,745	0,00110
	15-15'	4	1,64	0,01941	0,0318	27	43	16	1,650	0,832	0,00024
	21-21'	13	9,19	0,01941	0,1783	27	42	15	1,650	4,502	0,00132
	20-20'	14	6,56	0,01941	0,1274	27	39	12	1,650	2,535	0,00074
	28-28'	8	9,19	0,01941	0,1783	27	43	16	1,650	4,820	0,00141
29-29'	9	9,84	0,01941	0,1911	27	40	14	1,650	4,313	0,00126	
Cámara temporal (almacenamiento jamones)	6-6'	65	3,28	0,01640	0,0538	24	50	26	1,650	2,270	0,00067
	6-6'	65	6,56	0,01640	0,1076	24	50	26	1,650	4,540	0,00133
	9-9'	66	1,64	0,01640	0,0269	26	50	24	1,650	1,079	0,00032
	12-12'	67	1,64	0,01640	0,0269	25	50	25	1,650	1,103	0,00032
	15-15'	64	3,28	0,01640	0,0538	39	50	11	1,650	0,975	0,00029

Tabla N° 4.15 Flujo de calor total en la cámara CN00A000 y en la cámara temporal de almacenamiento de jamones por zonas calientes

Cámara	Flujo de calor q [btu/h]	Flujo de calor q [Kw]	Porcentaje
CN00A000	36,58	0,011	78,6%
Cámara temporal (almacenamiento jamones)	9,97	0,003	21,4%
TOTAL	46,55	0,014	100%

Como indica la tabla N° 4.15 el flujo de calor es mayor en la cámara CN00A000 con un valor de 0,011[Kw] y menor en la cámara temporal de almacenamiento de jamones con un valor de 0,003[Kw] Si sumamos los el flujo de calor en cada cámara se obtiene que actualmente las ganancias de calor por zonas calientes ascienden a un valor de 0,014[Kw]

4.5.2 FLUJO DE CALOR POR INFILTRACIÓN DE AIRE EXTERNO EN LA CÁMARA CN002000

Para cuantificar las ganancias de calor debido a ingreso de aire externo se utiliza el método “direct in-flow” propuesto por la ASHRAE ²⁴ cuando las cámaras de frío no están selladas completamente; para el cálculo se utiliza la ecuación 4.8. Es importante indicar que las temperaturas de los ambientes externos en cada cámara son de 10 ° C para las paredes colindantes al pasillo de ingreso a cámaras y 18 °C para las paredes colindantes con el ambiente externo, afirmación que se ve mejor en el anexo C6.

$$q_t = 6 \cdot V \cdot A \cdot (h_i - h_r) \rho_r \cdot D_t \quad \text{Ec. 4. 8}$$

ó

$$q_t = 6 \cdot V \cdot L \cdot a \cdot (h_i - h_r) \rho_r \cdot D_t$$

²⁴ASHRAE, Handbook of refrigeration, 1994, pp 26.5

q_t = Ganancia de calor promedio [kW]

V = Velocidad promedio aire [m/s]

A = Área de abertura = Largo (L) x ancho (a) [m^2]

h_i = Entalpia del aire de infiltración [kJ/kg]

h_r = Entalpia del aire refrigerado [kJ/kg]

ρ_r = Densidad del aire refrigerado [$\frac{kg}{m^3}$]

D_t = Fraccion decimal por la permanencia de la abertura o puerta [0-1].

Para este caso se considera el factor: $D_t = 1$, por abertura permanente. Además se debe considerar las dimensiones de la abertura como es el largo y el ancho, valores establecidos en la tabla N° 3.20

Para el utilizar la ecuación 4.8 es necesario establecer la velocidad del aire, la ASHRAE propone para las configuraciones analizadas (zonas calientes) valores que oscila entre 0.3 – 1.5 m/s²⁵. Se estima un valor promedio igual a 0.9 m/s.

4.5.2.1. Cálculo de las propiedades del aire externo (ambiente)

Para el cálculo se utiliza las ecuaciones 4.9, 4.10, 4.11 y los siguientes datos:

$$T_{bs} = 18 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (\text{Tabla N}^\circ 3.19)$$

$$T_{bh} = 14.4 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (\text{Tabla N}^\circ 3.19)$$

$$P_{g2} = P_{\text{sat,H2O}@T_{bh}} = 1.6484 \text{ kPa}$$

$$P_{g1} = P_{\text{sat,H2O}@T_{bs}} = 2.058 \text{ kPa}$$

$$P_2 = P_{\text{atm,Pifo}} = 71.9 \text{ kPa}$$

$$c_p = 1.005 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}} \right]$$

$$h_{fg2} = h@T_{bh} = 2466.81 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

$$h_{g1} = h_{\text{vap,sat.}@T_{bs}} = 2533.76 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

$$h_{f2} = h_{\text{liq,sat.}@T_{bh}} = 60.4668 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

Anexos E22 y E23

²⁵ASHRAE, Handbook of refrigeration, 1994, pp 26.5

Humedad específica y absoluta

Para determinar los valores se utilizan las ecuaciones 4.9 y 4.10.

$$w_1 = \frac{c_p(T_{bh}-T_{bs})+w_2h_{fg2}}{h_{g1}-h_{f2}} \quad \text{Ec. 4. 9}$$

$$w_2 = \frac{0.622P_{g2}}{P_2-P_{g2}} \quad \text{Ec. 4. 10}$$

Donde;

w_2 = humedad absoluta del aire[%]

c_p = calor específico a presión constante $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{Kg} * \text{K}} \right]$

T_{bh} = Temperatura de bulbo húmedo[°C]

T_{bs} = Temperatura de bulbo seco[°C]

w_1 = humedad específica del aire[%]

$h_{fg2} = h_{\text{evap.}@T_{bh}}$ = Entalpía de evaporación $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$

$P_{g2} = P@T_{bh}$ = Presión de saturación del agua [kPa]

$P_2 = P_{\text{atm,Pifo}}$ = Presión atmosférica de Pifo = 71.8 [kPa]

$h_{g1} = h_{\text{vap,sat.}@T_{bs}}$ = Entalpía de vapor saturado $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$

$h_{f2} = h_{\text{liq,sat.}@T_{bh}}$ = Entalpía de líquido saturado $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$

Reemplazando valores se obtienen las humedades específica y absoluta del aire:

$$w_2 = \frac{0.622 * (1.6484)}{71.9 - 1.6484}$$

$$w_2 = 0.015 \frac{\text{kg. H}_2\text{O}}{\text{kg. aire seco}}$$

$$w_1 = \frac{1.005 * (14.4 - 18) + (0.15 * 2466.81)}{2533.76 - 60.47}$$

$$w_1 = 0.013 \frac{\text{kg. H}_2\text{O}}{\text{kg. aire seco}}$$

Entalpía del aire externo " h_i "

El cálculo de la entalpía del aire se realiza con la ecuación 4.11

$$h_{\text{aire}} = h_a + w_1 \cdot h_g \quad \text{Ec. 4. 11}$$

$$h_{\text{aire}} = \text{Entalpía del aire} \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

$$h_a = \text{Entalpía del aire seco} \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

$$w_1 = \text{humedad absoluta del aire} [\%]$$

$$h_g = \text{Entalpía del vapor saturado} \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

Si $h_a = c_p * T_{bs}$; $h_g = h_{g1}$ considerando que el aire como gas ideal ²⁶ y reemplazando los datos en la ecuación 4.11, el valor de la entalpía del aire externo es:

$$h_{\text{aire}} = (1.005 * 18) + (0.013 * 2533.76)$$

$$h_{\text{aire externo}} = h_i = 51.42 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

Humedad relativa

Para hallar el porcentaje de humedad relativa se emplea la ecuación 4.12

²⁶Cengel, Termodinámica, 5ta edición, 2007, pp. 718

$$\phi_1 = \frac{w_1 * P_2}{(0.622 + w_1) P_{g1}} \quad \text{Ec. 4. 12}$$

$\phi_1 =$ **humedad relativa** [%]

$P_{g1} = P@T_{bs} =$ **Presión de saturación del agua** [kPa]

Reemplazando los valores se tiene:

$$\phi_1 = \frac{0.013155 * 71.8 \text{ kPa}}{(0.622 + 0.013155) * 2.058 \text{ kPa}}$$

$$\phi_1 = 0.7226 = 72.26 \%$$

4.5.2.2. Cálculode las propiedades del aire refrigerado “ h_r ”

Para este ítem se emplea: el termograma N° 21 (anexo D) su localización y dimensión de la zona caliente (tabla N° 3.20), las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo del ambiente refrigerado y del ambiente externo, como indica la tabla N° 3.19.

Largo_{abertura} = 0.5 m (Tabla N° 3.20)

Ancho_{abertura} = 0.005 m (Tabla N° 3.20)

Area_{abertura} = 0.5 * 0.005 = 0.00233 m²

T_{bs} = 5.4 °C (Tabla N° 3.19)

T_{bh} = 4 °C (Tabla N° 3.19)

P_{g2} = P_{sat,H2O@T_{bh}} = 0.8135 kPa

P_{g1} = P_{sat,H2O@T_{bs}} = 0.8976 kPa

c_p = 1.005 $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right]$

h_{fg2} = h@T_{bh} = 2491.31 $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$

h_{g1} = h_{vap,sat.@T_{bs}} = 2510.69 $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$

h_{f2} = h_{liq,sat.@T_{bh}} = 16.81 $\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$

Anexos E22 y E23

La humedad específica del aire es:

$$w_2 = 0.007 \frac{\text{kg. H}_2\text{O}}{\text{kg. aire seco}}$$

La humedad absoluta del aire es:

$$w_1 = 0.007 \frac{\text{kg. H}_2\text{O}}{\text{kg. aire seco}}$$

La entalpia total del aire es:

$$h_{\text{aire refrigerado}} = h_r = 21.89 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

La humedad relativa es:

$$\phi_1 = 0.8343 = 83.43 \%$$

4.5.2.3. Flujo de calor total

Reemplazando los datos calculados en la ecuación 4.8 se tiene:

$$q_t = 6 * 0.9 * 0.5 * 0.005 * (51.42 - 21.88) * 1.285 * 1$$

$$q_t = 0.4781 \text{ Kw}$$

Realizado los cálculos en las cámaras CN002000, CN006000, CN007000, CN008000 y HN002000, la tabla N°4.16 indica los resultados parciales y la tabla N° 4.17 resume el total por cada cámara.

Tabla N° 4.16 Resultados parciales de los flujos de calor por infiltración de aire en las cámaras CN002000, CN006000, CN007000, CN008000 y HN002000.

Cámara	Zona	Fotografía N°	Largo	Ancho	Velocidad aire	T2 [°C]		T1 [°C]		Densidad del aire @T1	Dt	Aire externo										Aire refrigerado								Flujo de calor	
			m	m		Tbs	Tbh	Tbs	Tbh			kg/m3	Pg2	Pg1	hfg	hg1	hf1	w2	w1	Ø1	hi	Pg2	Pg1	hfg	hg1	hf1	w2	w1	Ø1	hr	qt
					m/s																										
CN002000	12-12'	16	0,500	0,005	0,900	10,0	8,0	5,4	4,0	1,285	1	1,072	1,228	2481,84	2519,12	33,62	0,009	0,009	79,78%	31,73	0,814	0,898	2491,31	2510,69	16,81	0,007	0,007	83,44%	21,89	0,1593	
	12-12'	16	0,000	0,005	0,900	10,0	8,0	5,4	4,0	1,285	1	1,072	1,228	2481,84	2519,12	33,62	0,009	0,009	79,78%	31,73	0,814	0,898	2491,31	2510,69	16,81	0,007	0,007	83,44%	21,89	0,9705	
	9-9'	21	0,500	0,005	0,900	18,0	14,5	5,4	4,0	1,285	1	1,648	2,058	2466,81	2533,76	60,47	0,015	0,013	72,26%	51,42	0,814	0,898	2491,31	2510,69	16,81	0,007	0,007	83,44%	21,89	0,4781	
	6-6'	23	0,250	0,005	0,900	10,0	8,0	5,4	4,0	1,285	1	1,072	1,228	2481,84	2519,12	33,62	0,009	0,009	79,78%	31,73	0,814	0,898	2491,31	2510,69	16,81	0,007	0,007	83,44%	21,89	0,0796	
	6-6'	23	0,750	0,005	0,900	10,0	8,0	5,4	4,0	1,285	1	1,072	1,228	2481,84	2519,12	33,62	0,009	0,009	79,78%	31,73	0,814	0,898	2491,31	2510,69	16,81	0,007	0,007	83,44%	21,89	0,2389	
	14-14'	18	0,500	0,005	0,900	18,0	14,5	5,4	4,0	1,285	1	1,648	2,058	2466,81	2533,76	60,47	0,015	0,013	72,26%	51,42	0,814	0,898	2491,31	2510,69	16,81	0,007	0,007	83,44%	21,89	0,4781	
	26-26'	20	3,000	0,005	0,900	18,0	14,5	5,4	4,0	1,285	1	1,648	2,058	2466,81	2533,76	60,47	0,015	0,013	72,26%	51,42	0,814	0,898	2491,31	2510,69	16,81	0,007	0,007	83,44%	21,89	2,8687	
	27-27'	19	2,000	0,005	0,900	18,0	14,5	5,4	4,0	1,285	1	1,648	2,058	2466,81	2533,76	60,47	0,015	0,013	72,26%	51,42	0,814	0,898	2491,31	2510,69	16,81	0,007	0,007	83,44%	21,89	1,9124	
	23-23'	22	1,500	0,005	0,900	10,0	8,0	5,4	4,0	1,285	1	1,072	1,228	2481,84	2519,12	33,62	0,009	0,009	79,78%	31,73	0,814	0,898	2491,31	2510,69	16,81	0,007	0,007	83,44%	21,89	0,4778	
13-13'	17	0,250	0,005	0,900	18,0	14,5	5,4	4,0	1,285	1	1,648	2,058	2466,81	2533,76	60,47	0,015	0,013	72,26%	51,42	0,814	0,898	2491,31	2510,69	16,81	0,007	0,007	83,44%	21,89	0,2391		
CN006000	15-15'	28	0,150	0,007	0,900	18,0	14,5	5,9	4,0	1,283	1	1,648	2,058	2466,81	2533,76	60,47	0,015	0,013	72,26%	51,42	0,814	0,929	2491,31	2511,61	16,81	0,007	0,006	78,14%	21,89	0,2036	
	15-15'	28	0,350	0,007	0,900	18,0	14,5	5,9	4,0	1,283	1	1,648	2,058	2466,81	2533,76	60,47	0,015	0,013	72,26%	51,42	0,814	0,929	2491,31	2511,61	16,81	0,007	0,006	78,14%	21,89	0,4752	
	6-6'	23	0,250	0,007	0,900	18,0	14,5	5,9	4,0	1,283	1	1,648	2,058	2466,81	2533,76	60,47	0,015	0,013	72,26%	51,42	0,814	0,929	2491,31	2511,61	16,81	0,007	0,006	78,14%	21,89	0,3394	
	6-6'	23	0,750	0,007	0,900	18,0	14,5	5,9	4,0	1,283	1	1,648	2,058	2466,81	2533,76	60,47	0,015	0,013	72,26%	51,42	0,814	0,929	2491,31	2511,61	16,81	0,007	0,006	78,14%	21,89	1,0182	
	12-12'	35	0,250	0,007	0,900	18,0	14,5	5,9	4,0	1,283	1	1,648	2,058	2466,81	2533,76	60,47	0,015	0,013	72,26%	51,42	0,814	0,929	2491,31	2511,61	16,81	0,007	0,006	78,14%	21,89	0,3394	
	12-12'	35	0,350	0,007	0,900	18,0	14,5	5,9	4,0	1,283	1	1,648	2,058	2466,81	2533,76	60,47	0,015	0,013	72,26%	51,42	0,814	0,929	2491,31	2511,61	16,81	0,007	0,006	78,14%	21,89	0,4752	
	20-20'	29	1,100	0,007	0,900	18,0	14,5	5,9	4,0	1,283	1	1,648	2,058	2466,81	2533,76	60,47	0,015	0,013	72,26%	51,42	0,814	0,929	2491,31	2511,61	16,81	0,007	0,006	78,14%	21,89	1,4934	
	21-21'	31	0,200	0,007	0,900	18,0	14,5	5,9	4,0	1,283	1	1,648	2,058	2466,81	2533,76	60,47	0,015	0,013	72,26%	51,42	0,814	0,929	2491,31	2511,61	16,81	0,007	0,006	78,14%	21,89	0,2715	
	21-21'	31	0,400	0,007	0,900	18,0	14,5	5,9	4,0	1,283	1	1,648	2,058	2466,81	2533,76	60,47	0,015	0,013	72,26%	51,42	0,814	0,929	2491,31	2511,61	16,81	0,007	0,006	78,14%	21,89	0,5430	
28-28'	33	0,350	0,007	0,900	18,0	14,5	5,9	4,0	1,283	1	1,648	2,058	2466,81	2533,76	60,47	0,015	0,013	72,26%	51,42	0,814	0,929	2491,31	2511,61	16,81	0,007	0,006	78,14%	21,89	0,4752		
29-29'	34	0,650	0,007	0,900	18,0	14,5	5,9	4,0	1,283	1	1,648	2,058	2466,81	2533,76	60,47	0,015	0,013	72,26%	51,42	0,814	0,929	2491,31	2511,61	16,81	0,007	0,006	78,14%	21,89	0,8824		
CN007000	15-15'	41	1,000	0,006	0,900	10,0	8,0	12,6	12,5	1,366	1	1,072	1,228	2481,84	2519,12	33,62	0,009	0,009	79,78%	31,73	0,208	0,206	2836,94	2477,57	-359,18	0,002	0,002	102,89%	-8,10	1,8883	

	6-6'	45	1,200	0,006	0,900	18,0	14,5	12,6	12,5	1,366	1	1,648	2,058	2466,81	2533,76	60,47	0,015	0,013	72,26%	51,42	0,208	0,206	2836,94	2477,57	-359,18	0,002	0,002	102,89%	-8,10	3,3865
	9-9'	44	0,700	0,006	0,900	18,0	14,5	12,6	12,5	1,366	1	1,648	2,058	2466,81	2533,76	60,47	0,015	0,013	72,26%	51,42	0,208	0,206	2836,94	2477,57	-359,18	0,002	0,002	102,89%	-8,10	1,9755
	12-12'	42	0,500	0,006	0,900	18,0	14,5	12,6	12,5	1,366	1	1,648	2,058	2466,81	2533,76	60,47	0,015	0,013	72,26%	51,42	0,208	0,206	2836,94	2477,57	-359,18	0,002	0,002	102,89%	-8,10	1,4111
	12-12'	42	1,500	0,006	0,900	18,0	14,5	12,6	12,5	1,366	1	1,648	2,058	2466,81	2533,76	60,47	0,015	0,013	72,26%	51,42	0,208	0,206	2836,94	2477,57	-359,18	0,002	0,002	102,89%	-8,10	4,2332
	21-21'	46	0,600	0,006	0,900	18,0	14,5	12,6	12,5	1,366	1	1,648	2,058	2466,81	2533,76	60,47	0,015	0,013	72,26%	51,42	0,208	0,206	2836,94	2477,57	-359,18	0,002	0,002	102,89%	-8,10	1,6933
	24-24'	43	0,500	0,006	0,900	18,0	14,5	12,6	12,5	1,366	1	1,648	2,058	2466,81	2533,76	60,47	0,015	0,013	72,26%	51,42	0,208	0,206	2836,94	2477,57	-359,18	0,002	0,002	102,89%	-8,10	1,4111
CN008000	6-6'	59	0,750	0,005	0,900	18,0	14,5	3,8	3,0	1,292	1	1,648	2,058	2466,81	2533,76	60,47	0,015	0,013	72,26%	51,42	0,758	0,802	2493,68	2507,75	12,60	0,007	0,006	89,87%	19,64	0,8919
	6-6'	59	1,500	0,005	0,900	18,0	14,5	3,8	3,0	1,292	1	1,648	2,058	2466,81	2533,76	60,47	0,015	0,013	72,26%	51,42	0,758	0,802	2493,68	2507,75	12,60	0,007	0,006	89,87%	19,64	1,7838
	9-9'	57	1,000	0,005	0,900	18,0	14,5	3,8	3,0	1,292	1	1,648	2,058	2466,81	2533,76	60,47	0,015	0,013	72,26%	51,42	0,758	0,802	2493,68	2507,75	12,60	0,007	0,006	89,87%	19,64	1,1892
	12-12'	61	0,750	0,005	0,900	18,0	14,5	3,8	3,0	1,292	1	1,648	2,058	2466,81	2533,76	60,47	0,015	0,013	72,26%	51,42	0,758	0,802	2493,68	2507,75	12,60	0,007	0,006	89,87%	19,64	0,8919
	12-12'	61	1,500	0,005	0,900	18,0	14,5	3,8	3,0	1,292	1	1,648	2,058	2466,81	2533,76	60,47	0,015	0,013	72,26%	51,42	0,758	0,802	2493,68	2507,75	12,60	0,007	0,006	89,87%	19,64	1,7838
	15-15'	51	1,500	0,005	0,900	10,0	8,0	3,8	3,0	1,292	1	1,072	1,228	2481,84	2519,12	33,62	0,009	0,009	79,78%	31,73	0,758	0,802	2493,68	2507,75	12,60	0,007	0,006	89,87%	19,64	0,6782
	a-a'	54	2,000	0,005	0,900	18,0	14,5	3,8	3,0	1,292	1	1,648	2,058	2466,81	2533,76	60,47	0,015	0,013	72,26%	51,42	0,758	0,802	2493,68	2507,75	12,60	0,007	0,006	89,87%	19,64	2,3784
	c-c'	56	0,650	0,005	0,900	18,0	14,5	3,8	3,0	1,292	1	1,648	2,058	2466,81	2533,76	60,47	0,015	0,013	72,26%	51,42	0,758	0,802	2493,68	2507,75	12,60	0,007	0,006	89,87%	19,64	0,7730
	c-c'	56	1,500	0,005	0,900	18,0	14,5	3,8	3,0	1,292	1	1,648	2,058	2466,81	2533,76	60,47	0,015	0,013	72,26%	51,42	0,758	0,802	2493,68	2507,75	12,60	0,007	0,006	89,87%	19,64	1,7838
	21-21'	60	2,000	0,005	0,900	10,0	8,0	3,8	3,0	1,292	1	1,072	1,228	2481,84	2519,12	33,62	0,009	0,009	79,78%	31,73	0,758	0,802	2493,68	2507,75	12,60	0,007	0,006	89,87%	19,64	0,9043
	32-32'	53	0,000	0,005	0,900	10,0	8,0	3,8	3,0	1,292	1	1,072	1,228	2481,84	2519,12	33,62	0,009	0,009	79,78%	31,73	0,758	0,802	2493,68	2507,75	12,60	0,007	0,006	89,87%	19,64	3,0683
	32-32'	53	0,000	0,005	0,900	10,0	8,0	3,8	3,0	1,292	1	1,072	1,228	2481,84	2519,12	33,62	0,009	0,009	79,78%	31,73	0,758	0,802	2493,68	2507,75	12,60	0,007	0,006	89,87%	19,64	3,0683
33-33'	52	0,000	0,005	0,900	10,0	8,0	3,8	3,0	1,292	1	1,072	1,228	2481,84	2519,12	33,62	0,009	0,009	79,78%	31,73	0,758	0,802	2493,68	2507,75	12,60	0,007	0,006	89,87%	19,64	3,0683	
b-b'	55	1,500	0,005	0,900	18,0	14,5	3,8	3,0	1,292	1	1,648	2,058	2466,81	2533,76	60,47	0,015	0,013	72,26%	51,42	0,758	0,802	2493,68	2507,75	12,60	0,007	0,006	89,87%	19,64	1,7838	
HN002000	28-28'	71	0,250	0,005	0,900	10,0	8,0	16,8	14,0	1,234	1	1,072	1,228	2481,84	2519,12	33,62	0,009	0,009	79,78%	31,73	1,599	1,914	2467,66	2531,55	58,78	0,014	0,013	76,78%	49,79	0,1461
	28-28'	71	0,000	0,005	0,900	10,0	8,0	16,8	14,0	1,234	1	1,072	1,228	2481,84	2519,12	33,62	0,009	0,009	79,78%	31,73	1,599	1,914	2467,66	2531,55	58,78	0,014	0,013	76,78%	49,79	7,0627
	29-29'	72	1,000	0,005	0,900	10,0	8,0	16,8	14,0	1,234	1	1,072	1,228	2481,84	2519,12	33,62	0,009	0,009	79,78%	31,73	1,599	1,914	2467,66	2531,55	58,78	0,014	0,013	76,78%	49,79	0,5843
	29-29'	72	0,000	0,005	0,900	10,0	8,0	16,8	14,0	1,234	1	1,072	1,228	2481,84	2519,12	33,62	0,009	0,009	79,78%	31,73	1,599	1,914	2467,66	2531,55	58,78	0,014	0,013	76,78%	49,79	7,0627
	6-6'	73	0,400	0,005	0,900	10,0	8,0	16,8	14,0	1,234	1	1,072	1,228	2481,84	2519,12	33,62	0,009	0,009	79,78%	31,73	1,599	1,914	2467,66	2531,55	58,78	0,014	0,013	76,78%	49,79	0,2337
	6-6'	73	0,400	0,005	0,900	10,0	8,0	16,8	14,0	1,234	1	1,072	1,228	2481,84	2519,12	33,62	0,009	0,009	79,78%	31,73	1,599	1,914	2467,66	2531,55	58,78	0,014	0,013	76,78%	49,79	0,2337
	9-9'	74	0,400	0,005	0,900	10,0	8,0	16,8	14,0	1,234	1	1,072	1,228	2481,84	2519,12	33,62	0,009	0,009	79,78%	31,73	1,599	1,914	2467,66	2531,55	58,78	0,014	0,013	76,78%	49,79	0,2337
	9-9'	74	0,900	0,005	0,900	10,0	8,0	16,8	14,0	1,234	1	1,072	1,228	2481,84	2519,12	33,62	0,009	0,009	79,78%	31,73	1,599	1,914	2467,66	2531,55	58,78	0,014	0,013	76,78%	49,79	0,5259

	14-14'	75	1,600	0,005	0,900	10,0	8,0	16,8	14,0	1,234	1	1,072	1,228	2481,84	2519,12	33,62	0,009	0,009	79,78%	31,73	1,599	1,914	2467,66	2531,55	58,78	0,014	0,013	76,78%	49,79	0,9350
--	--------	----	-------	-------	-------	------	-----	------	------	-------	---	-------	-------	---------	---------	-------	-------	-------	--------	-------	-------	-------	---------	---------	-------	-------	-------	--------	-------	---------------

Tabla N° 4.17 Flujo de calor total en las cámaras CN002000, CN006000, CN007000, CN008000 y HN002000, por infiltración de aire.

Cámaras	Flujo de calor [kW]	Porcentaje [%]
CN002000	7,90	11,06%
CN006000	6,52	9,12%
CN007000	16,00	22,38%
CN008000	24,05	33,64%
HN002000	17,02	23,81%
TOTAL	71,48	100,00%

Como indica la tabla N° 4.15 el flujo de calor es mayor en la cámara CN008000 con un valor de 24,05[Kw] y menor en la cámara CN006000 con un valor de 6.52[Kw] .Si sumamos el flujo de calor por cámara se obtiene que actualmente las ganancias de calor ascienden a un valor de 71,48[Kw].

4.6 PROPUESTAS DE MEJORA PARA EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Se proceden a estudiar las propuestas para reducir el consumo de energía y costos energéticos del sistema de refrigeración de la planta bajo los aspectos que indica la figura N°4.5

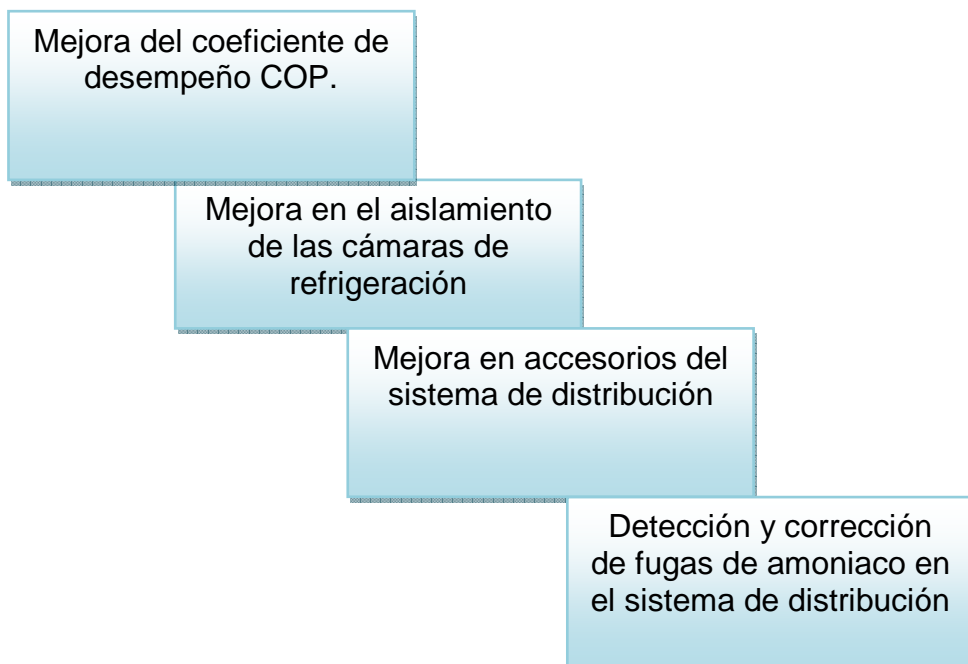


Figura N° 4.5 Propuestas para reducir el consumo y los costos energéticos del sistema de refrigeración.

El sistema de refrigeración es el de mayor consumo de electricidad de la planta; el costo de operación de los equipos en el 2011 fue de 189.598,73 USD, lo que representa el 58% del valor en electricidad que actualmente cancela la planta.

Las propuestas de mejora que se establecen a continuación serán analizadas en el capítulo siguiente en forma técnica y económica.

4.7.1 MEJORA DEL COP

Las unidades individuales con halocarburos, presentan varios inconvenientes con respecto a los puntos de ajuste para un buen funcionamiento de los equipos cuyo resultado se resume en los COP's calculados. Se recomiendan puntos de ajuste adecuados con los cuales se obtendrá una mayor eficacia.

4.7.2 MEJORA EN EL AISLAMIENTO DE LAS CÁMARAS DE REFRIGERACIÓN

En las actuales condiciones se demostró que en la cámara CN00A000 y la cámara almacenamiento temporal de jamones, las ganancias por zonas calientes tienen un valor de 0.014 [Kw] que comparadas con los resultados de otras cámaras (tabla

Nº 4.17), su valor no es considerable, por tal razón proponer mejoras no proporciona eficiencia alguna al sistema.

En las cámaras CN002000, CN006000, CN007000, CN008000 y HN002000, las ganancias de calor por infiltración de aire tienen un valor de 71,48 [kW]. Como propuesta de mejora para este tópico se estudiará la posibilidad de cambiar los paneles aislantes en cada cámara, considerando que actualmente las instalaciones físicas de la planta están en un proceso de ampliar su capacidad.

4.7.3 MEJORA EN ACCESORIOS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

Como se estableció en el capítulo 3, la mayoría de las válvulas reguladoras de presión presentan puntos de corrosión debido a que están expuestas a la intemperie, lo que puede ocasionar variación en su regulación en la etapa de evaporación, disminuyendo el COP y aumentando el consumo eléctrico. Se analizará la posibilidad de dar un mantenimiento y adecuada calibración para garantizar un correcto funcionamiento.

4.7.4 DETECCIÓN Y CORRECCIÓN DE FUGAS DE AMONÍACO EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

Respecto a este ítem analizado en el capítulo 3, se propondrá un método para disminuir la pérdida de refrigerante.

CAPÍTULO 5

EVALUACIÓN TÉCNICA - ECONÓMICA DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA

5.1 ANTECEDENTES

Se procede a evaluar técnicamente las propuestas de mejora, indicadas en el capítulo anterior. Con estos resultados se efectúa la evaluación económica para determinar los ahorros de energía.

Seguidose presenta un resumen de: mejoras, ahorros energéticos y ahorros económicos. Finalmente se establecen los costos del proyecto y se hace un análisis con indicadores económico para verificar la viabilidad del proyecto.

5.2 MEJORAMIENTO DEL COP EN LOS CICLOS DE REFRIGERACIÓN CON HALOCARBUIROS

5.2.1 EVALUACIÓN TÉCNICA

El ajuste de los parámetros de funcionamiento de los equipos con halocarburos promueven menores consumos de energía y reducción de costos de mantenimiento, para la ejecución se debe considerar las recomendaciones del fabricante, y el análisis del estado de los ambientes en cada sector, con respecto a los porcentajes de humedad relativa adecuado y según los productos que se maneja en cada cámara que principalmente son derivados de carne. Este análisis se basa en recomendaciones que indica la tabla N° 5.1'

Tabla N° 5.1 Diferencia de temperatura (DT) de diseño del evaporador ²⁷

Humedad relativa %	DT Diseño ° F	
	Convección Natural	Convección Forzada
95-91	12 - 14	8 - 10
90-86	14 - 16	10 - 12
85-81	16 - 18	12 - 14
80-76	18 - 20	14 - 16
75-70	20 - 22	16 - 18

En referencia a la tabla N° 5.1 se afirma que cuando menor es el DT mayor es el porcentaje de humedad relativa y cuando la diferencia es mayor el porcentaje de humedad relativa disminuye. Basándonos en esta afirmación se propone puntos de ajuste adecuados para cada ciclo termodinámico; como las cámaras trabajan entre temperaturas que van desde -18°C hasta 4°C se recomienda un porcentaje de humedad relativa entre 95% a 91% en las temperatura menores a cero con un DT entre 8°C y 10°C , mientras que para las temperaturas mayor a cero se considera un rango de humedad relativa entre 90% a 86 % con un DT entre 10°C y 12°C .

La tabla N° 5.2 propone puntos de operación para un mejor desempeño en cada ciclo a excepción de los equipos HN001000 y HN002000, cuyos parámetros se encuentran en los rangos adecuados de DT.

²⁷ DOSSAT, Roy, Principios de refrigeración, pp. 244

Tabla N° 5.2 Parámetros de operación propuestos en los ciclos con halocarburos

Refrigerante	Equipos	Temperatura de evaporación		Temperatura de condensación		Temperatura del espacio refrigerado		DT
		° C	° F	° C	° F	° C	° F	° F
R-22	CTE0 9000	-23,6	-10,4	32,2	90	-18	-0,4	10
	CTE1 9000							
	CTE1 1000	-2,7	27,2	35	95	4	39,2	12
	FA - EV033	-4,7	23,6	33,9	93	2	35,6	12
	FA - EV034							
R-507	HN00 1000	-5	23	48,9	120	2	35,6	12,6
	HN00 2000	-2,8	27	48,9	120	4	39,2	12,2
	PNEN 1000	-7,7	18,1	46,7	116	-2	28,4	10,3
	CTEO A000	-18,9	-2,1	40	104	-13	8,6	10,7

Se analiza el ciclo de la unidad condensadora y los evaporadores CTE09000 - CTE19000, en el estado A se tiene líquido saturado a la presión de condensación.

$$T_A = 32.2^{\circ}\text{C}$$

$$P_{A,abs} = P_A @ T_A = 1255 \text{ KPa}$$

$$h_A = h_f @ T_A = 239.2 \text{ KJ/Kg}$$

El estado B se ubica a la presión de evaporación, en este punto el refrigerante es una mezcla líquido – vapor.

$$T_B = -23.6^{\circ}\text{C}$$

$$P_{B,abs} = P_B @ T_B = 209 \text{ KPa}$$

$$h_B = h_f @ T_B = 239.2 \text{ KJ/Kg}$$

En el estado C el refrigerante se encuentra como vapor saturado a la presión de evaporación.

$$T_C = T_B = -23.6^{\circ}\text{C}$$

$$P_{C,abs} = P_{B,abs} = 209 \text{ KPa}$$

$$h_C = h_g @ T_C = 395.3 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_C = s_g @ T_C = 1.789 \text{ KJ}/(\text{Kg} * \text{K})$$

Finalmente el refrigerante en el punto D esta sobrecalentado a la presión de condensación

$$P_{D,abs} = P_{A,abs} = 1255 \text{ KPa}$$

$$T_D = T_s @ P_{D,abs}, s_D = 62.2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_D = h_{sob.cal.} @ P_{D,abs}, s_D = 441 \text{ KJ/Kg}$$

$$s_D = s_C = 1.789 \text{ KJ/(Kg * K)}$$

De esta forma se evaluó los procesos termodinámicos en cada ciclo y unidad condensadora, las propiedades de los refrigerantes R-22 y R-507 se indican desde la tabla N° 5.3 hasta la N° 5.7, según los puntos de ajuste mencionados y las gráficas p-h de cada ciclo se indican desde el anexo F1. al F5.

5.2.2.1 Propiedades en los ciclos con refrigerante R-22

Tabla N° 5.3 Propiedades del refrigerante en el ciclo teórico (evaporadores CTE09000 y CTE19000)

Punto	Presión [KPa]	Temperatura [° C]	Entalpia [KJ/Kg]	Calidad %	Condición del refrigerante
A	1255	32,2	239,2	-----	Líquido saturado
B	209	-26,3	239,2	11,74	Mezcla líquido vapor
C	209	-26,3	395,3	-----	Vapor saturado
D	1255	62,2	441	-----	Vapor sobrecalentado

Tabla N° 5.4 Propiedades del refrigerante en el ciclo teórico (evaporador CTE11000)

Punto	Presión [KPa]	Temperatura [° C]	Entalpia [KJ/Kg]	Calidad %	Condición del refrigerante
A	1319	35	241,7	-----	Líquido saturado
B	435	-2,7	241,7	7,75	Mezcla líquido vapor
C	435	-2,7	403,5	-----	Vapor saturado
D	1319	53	431,1	-----	Vapor sobrecalentado

Tabla N° 5.5 Propiedades del refrigerante en el ciclo teórico (evaporadores FA-EV033 y FA-EV034)

Punto	Presión [KPa]	Temperatura [° C]	Entalpia [KJ/Kg]	Calidad %	Condición del refrigerante
A	1321	33,9	241,8	-----	Líquido saturado
B	407	-4,7	241,8	8,2	Mezcla líquido vapor
C	407	-4,7	402,8	-----	Vapor saturado
D	1321	53,2	432,5	-----	Vapor sobrecalentado

5.2.2.2 Propiedades en los ciclos con refrigerante R-507

Tabla N° 5.6 Propiedades del refrigerante en el ciclo teórico (evaporadores PNEN1000)

Punto	Presión [KPa]	Temperatura [° C]	Entalpia [KJ/Kg]	Calidad %	Condición del refrigerante
A	2151	46,7	269,8	-----	Líquido saturado
B	483	-7,7	269,8	14,77	Mezcla líquido vapor
C	483	-7,7	357,4	-----	Vapor saturado
D	2151	53	386,2	-----	Vapor sobrecalentado

Tabla N° 5.7 Propiedades del refrigerante en el ciclo teórico (evaporadores CTE0A000)

Punto	Presión [KPa]	Temperatura [° C]	Entalpia [KJ/Kg]	Calidad %	Condición del refrigerante
A	1869	40	259,66	-----	Líquido saturado
B	316	-18,9	259,66	16,48	Mezcla líquido vapor
C	316	-18,9	350,92	-----	Vapor saturado
D	1869	57	385,5	-----	Vapor sobrecalentado

5.2.2.3 Cálculo del COP propuesto del ciclo con halocarburo para la unidad condensadora y el evaporador CTE09000 - CTE19000

Se procede al cálculo del COP propuesto para el ciclo con R-22 empleando las ecuaciones 4-2, 4-3 y 4-4 respectivamente. En la tabla N° 5.8 se resumen los COP's propuestos en los ciclos que emplean refrigerante R-22 y R-507.

Tabla N° 5.8 Coeficientes de desempeño propuestos

Refrigerante	Equipos	COP
		Propuestos
R-22	CTE0 9000	3,42
	CTE1 900	
	CTE1 1000	5,86
	FA - EV033	5,42
	FA - EV034	
R-507	PNEN 1000	3,04
	CTEO A000	2,64

5.2.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA

En base a las propuestas para mejorar los puntos de ajuste en función del parámetro DT, se obtuvo nuevos COP's. Basándonos en estos argumentos y en la ecuación N° 5.1, los ahorros obtenidos para la unidad CTE09000 y CTE19000 son:

$$\text{Ahorro Electricidad} = \left(1 - \frac{\text{COP}_{\text{Actual}}}{\text{COP}_{\text{Propuesto}}}\right) * \text{Consumo Electricidad} \frac{\text{Kw-h}}{\text{año}} \quad \text{Ec. 5. 1}$$

$$\text{Ahorro Electricidad} = \left(1 - \frac{3.12}{3.42}\right) * 94312.1$$

$$\text{Ahorro Electricidad} = 8.166,1 \frac{\text{Kw} - \text{h}}{\text{año}}$$

$$\text{Ahorro USD} = 8.166,1 \frac{\text{Kw} - \text{h}}{\text{año}} * 0.081 \frac{\text{USD}}{\text{Kw} - \text{h}}$$

$$\text{Ahorro USD} = 661,45 \frac{\text{USD}}{\text{Año}}$$

La tabla N° 5.9 cita los ahorros anuales obtenidos mejorando el COP, en las unidades individuales con halocarburos.

Tabla N° 5.9 Ahorro energéticos y económicos anuales en las unidades individuales con halocarburos.

Refrigerante	Equipo	Consumo de electricidad	COP actual	COP Propuestos	Ahorro electricidad	Ahorro económico	Ahorro
		[Kw-h/año]			[Kw-h/año]	USD	%
R-22	CTE0 9000	94312,1	3,12	3,42	8166,1	661,45	37,5%
	CTE1 900						
	CTE1 1000	27694,3	5,62	5,86	1144,7	92,72	5,3%
R-507	HN00 1000	43413,5	3,05	3,06	141,9	11,49	0,7%
	PNEN 3000	19561,0	2,64	3,04	2583,1	209,23	11,9%
	CTEO A00	36676,4	1,94	2,64	9715,6	786,96	44,7%
Total					21751.38	1761,86	100,0%

Como se observa en la tabla N° 5.9 el mayor ahorro económico anual se da en el ciclo de los equipos CTE09000 y CTE19000, con un valor de USD 661.45, mientras que el menor ahorro se da en el ciclo del equipo HN001000 con un valor de USD 92.72

5.3 MEJORAMIENTO DEL AISLAMIENTO EN LAS CÁMARAS DE REFRIGERACIÓN

5.3.1 EVALUACIÓN TÉCNICA

En esta parte se procederá a escoger un tipo de panel aislante idóneo para las cámaras que presentan infiltración de aire, a través de las zonas calientes.

Esta propuesta es técnicamente factible pues actualmente existe un proyecto que contempla el cambio de paneles aislantes por ampliaciones en las áreas productivas de las cámaras.²⁸

Espesor del aislamiento

Para encontrar un espesor adecuado que proporcione buen aislamiento térmico se utiliza la figura N° 5.1, que propone a través de la temperatura de operación (diseño) seleccionar un valor.

Temperatura de operación °C	ESPEORES										
	2"	3"	4"	5"	6"	7"	8"	9"	10"	11"	12"
15											
10											
5											
0											
-5											
-10											
-15											
-20											
-25											
-30											

Figura N° 5.1 Temperatura de operación vs. espesor de panel de aislamiento.²⁹

Una vez identificadas las temperaturas de operación (tabla N°3.19) los resultados serán como indica la tabla N°5.10

²⁸PRONACA, Departamento de Mantenimiento, 2012

²⁹ http://www.termoconsult.com/empresas/fanosa/cuartos_frios.htm

Tabla N° 5.10 Resultados obtenidos en la elección del espesor del aislamiento

Cámaras	Temperatura de operación	Espesor del aislante		Promedio (mm)
	(° C)	(pulg)	(mm)	
CN002000	4	3	76	102
CN006000	4	3	76	
HN002000	4	3	76	
CN008000	0	4	102	
CN007000	-18	7	178	

Observando los valores de la tabla anterior, a medida que la temperatura de operación es baja el espesor del aislante aumenta (CN007000) y cuando es alta el espesor disminuye (CN002000). Para aliviar este inconveniente se establece un valor promedio igual a 100 mm, con el fin de estandarizar esta dimensión, ya que en la planta el espesor de los paneles en promedio tiene un valor similar.³⁰

Área a cubrir

Como indica el anexo C6. las cámaras CN006000, CN007000 y CN008000 comparten paredes laterales, mientras que las cámaras CN002000, y HN00200 no colindan con paredes de otras cámaras.

Para el cálculo del área total a cubrir se emplea la tabla N° 3.19 que indica las dimensiones de cada sector considerando que al valor total se debe restar un primer valor igual a 3.75 m^2 (1.5 x 2.5 m) que servirá para ubicar la puerta de ingreso a cada sector y un segundo valor que corresponde a las área de las paredes compartidas cuyo valor es 81.2 m^2 . La tabla N° 5.11 indica en resumen los valores en cada caso

³⁰PRONACA, Departamento de Mantenimiento, 2012

Tabla N° 5.11 Áreas a cubrir con paneles aislantes en las cámaras que presentan infiltraciones de aire.

Cámaras	Puertas		Área lateral sin puertas	Área lateral con puertas y paredes comunes	Techo
	uni.	m ²	m ²	m ²	m ²
CN002000	1	3,75	85,3	81,5	67,6
CN006000	1	3,75	107,8	63,5	43,6
HN002000	1	3,75	69,3	65,6	24,3
CN008000	2	7,5	301,4	253,3	430,4
CN007000	1	3,75	119,7	115,9	70,1
Total	6	22,5	683,4	579,7	636,0

Como indica la tabla anterior el área total a cubrir en las cámaras con respecto a las paredes es 579.7m² y para el techo es 636m²

Elección del panel aislante

La selección del panel aislante debe garantizar los siguientes requerimientos: alta resistencia térmica, resistencia mecánica, estabilidad dimensional, impermeabilidad del agua, apariencia estética y rapidez de instalación. Se propone elegir paneles similares a los ya instalados en la planta, con el objetivo de estandarizar las instalaciones, por lo tanto se escogen paneles tipo sándwich de espuma de poliuretano con las características que indica la tabla N° 5.12.

Tabla N° 5.12 Especificaciones técnicas del panel aislante tipo sándwich

Panel aislante	
Tipo	Sándwich
Aislante	Espuma de poliuretano
Rango de uso	-40 a +80 °C
Recubrimiento	Chapas metálicas Pintura acabado poliéster estándar atóxico, para uso alimenticio
Espesor del recubrimiento	1,13 mm
Tipo de unión entre paneles	Machihembra
Conductividad térmica	22 mW/m.K

Largo	1,5 m hasta 12 m
Ancho	1,20 m

Fuente [Pronaca, 2012]

Los paneles aislantes se solucionaran de acuerdo con las siguientes propuestas: paredes laterales de 1.20 x 3.5 mts con un área útil de 3.85m² y techo de 1.20 x 6mts con un área útil de 6.6m². Por lo tanto la cantidad de paneles a emplear se calcula de acuerdo a la ecuación 5.1:

$$\text{Número de paneles} = \frac{\text{Área a cubrir}}{\text{Área útil por panel}} \quad \text{Ec. 5. 2}$$

Paredes

$$\text{Número de paneles} = \frac{579.7 \text{ m}^2}{3.85} = 150.6$$

$$\text{Número de paneles} \approx 151$$

Techo

$$\text{Número de paneles} = \frac{636 \text{ m}^2}{6.6} = 96.37$$

$$\text{Número de paneles} \approx 96$$

Costos por cambio de paneles

Para determinar los costos de esta propuesta se cita un valor promedio por metro cuadrado instalado igual a de USD. 36,59³¹. En la tabla N° 5.13 se resume los costos para cada cámara.

³¹PRONACA, Departamento de mantenimiento, 2012

Tabla N° 5.13 Resumen de costos por el cambio de paneles aislantes en las cámaras de la planta.

Cámaras	Costos por área USD		Costos por cámara USD
	Paredes	Techo	
CN002000	2.982,45	2.474,58	5.457,03
CN006000	2.321,64	1.596,06	3.917,69
HN002000	2.398,47	890,23	3.288,71
CN008000	9.266,42	15.748,34	25.014,75
CN007000	4.241,88	2.563,50	6.805,37
Total	21.210,86	23.272,70	44.483,56

Como se observa en la tabla N° 5.13 el costo por cambio de paneles aislantes, es mayor en la cámara CN008000 con un valor de 25.014,75USD y menor en la cámara HN002000 con un valor de 3.288,71 USD.

5.3.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA

Para evaluar en forma económica las ganancias de calor por infiltración de aire en las cámaras, se debe determinar el trabajo adicional que hace el compresor (pérdidas de energía) y relacionarlo en términos económicos. Para esto se utilizó la ecuación 5.3 considerando que: el COP se mantiene constante y es un valor que relaciona lo que se gana en calor frente a lo que cuesta la operación del compresor.

$$\text{COP} = \frac{Q_R}{W_N} \quad \text{Ec. 5.3}$$

Q_R = Lo que se gana en calor por infiltración de aire [kW]

W_N = Lo que cuesta la operación del compresor para sostener la infiltración de aire [kW]

Como se estudió en el capítulo 3, las cámaras se ubican en cada ciclo del sistema de acuerdo a sus equipos de refrigeración, por lo tanto para el cálculo de " W_N " se utiliza la tabla N° 4.17 que indica el flujo de calor por infiltración de aire, los valores de los COP_{real} que se determinaron en el capítulo 4 para cada ciclo y la ecuación 5.3.

Ejemplo de cálculo para compresor de amoníaco del ciclo a presión de evaporación media

Datos

$$COP_{\text{real}} = 4.97 \text{ (Capítulo 4)}$$

$$\text{Flujo de calor en la cámara CN002000 } Q_R = 7.9 \text{ kW (Tabla N}^\circ \text{ 4.17)}$$

Despejando W_N de la ecuación 5.3 se tiene:

$$W_N = \frac{Q_R}{COP}$$

Reemplazando los datos se tiene:

$$W_N = \frac{7.90 \text{ kW}}{4.97}$$

$$W_N = 1.59 \text{ kW}$$

La tabla N° 5.14 indica en resumen el cálculo de “ W_N ” en cada ciclo y cámara del sistema de refrigeración, considerando el valor del COP en cada caso.

Tabla N° 5.14 Resumen del cálculo de “ W_N ” en los ciclos y cámaras del sistema de refrigeración

Refrigerante	Ciclos	Cámaras	COP	Qr [kW]	Wn [kW]	
NH3	Presión media	CN002000	4,97	7,90	1,59	
		CN006000	4,97	6,52	1,31	
		CN008000	4,97	24,05	4,84	
	Presión baja	CN007000	3,06	16,00	5,23	
Halocarburo	R-507	HN002000	3,19	17,02	5,33	
				Total	71,48	18,30

Como indica la tabla N° 5.14 para cubrir el flujo de calor total por infiltración de aire igual a 71,48 [kW], los compresores realizar un trabajo adicional de 18,30 [kW], valor que representa las pérdidas de energía.

Para determinar el costo de operación anual del compresor, se utiliza la ecuación 5.4 y los siguientes datos:

Ec. 5. 4

$$\text{Costo anual}_{\text{compresor}} = W_N [\text{kW}] * \text{Jornada}_{\text{diaria}} \left[\frac{\text{h}}{\text{día}} \right] * \text{Jornada}_{\text{anual}} \left[\frac{\text{día}}{\text{año}} \right] * \text{Costo}_{\text{Fact.}} \frac{\text{USD}}{\text{kW} - \text{h}}$$

$$\text{Jornada}_{\text{diaria}} = \text{Jornada diaria de operación del compresor} = 24 \left[\frac{\text{h}}{\text{día}} \right] (\text{Tabla N}^\circ 3.3)$$

$$\text{Jornada}_{\text{anual}} = \text{Jornada anual de operación del compresor} = 365 \left[\frac{\text{día}}{\text{año}} \right] (\text{Tabla N}^\circ 3.3)$$

$$\text{Costo}_{\text{Fact.}} = \text{Costo facturado en dólares por cada kW} - \text{h} = 0.081 \left[\frac{\text{USD}}{\text{kW-h}} \right]^{32}$$

Reemplazando los valores se tiene:

$$\text{Costo anual}_{\text{compresor}} = 1.59 [\text{kW}] * 24 \left[\frac{\text{h}}{\text{día}} \right] * 365 \left[\frac{\text{día}}{\text{año}} \right] * 0.081 \frac{\text{USD}}{\text{kW} - \text{h}}$$

$$\text{Costo anual}_{\text{compresor}} = 1.128,22 \frac{\text{USD}}{\text{Año}}$$

La tabla N° 5.15 indica para los compresores las jornadas de operación, las pérdidas de energía anual y sus costos económicos

Tabla N° 5.15 Resumen de las pérdidas de energía anual y sus costos para los ciclos del sistema de refrigeración

Refrigerante	Ciclos	Cámaras	Jornada [h/día]	Jornada [día/año]	Wn [kW]	Perdida de energía anual [kW-h/año]	Costo [USD/año]
NH3	Presión media	CN002000	24	365	1,59	13928,65	1128,22
		CN006000	24	365	1,31	11485,71	930,34
		CN008000	24	365	4,84	42384,21	3433,12
	Presión baja	CN007000	24	365	5,23	45800,65	3709,85
Halocarburo	R-507	HN002000	22	365	5,33	42838,05	3469,88
total					18,30	156437,28	12671,42

³²PRONACA, Departamento de mantenimiento, 2012

Como indica la tabla anterior para los compresores, la mayor pérdida de energía al año ocurre en el ciclo a presión de evaporación baja, cámara CN007000, con un valor de $3.709,85 \frac{\text{USD}}{\text{Año}}$ y la menor en el ciclo a presión de evaporación media, cámara CN006000, con un valor de $1.128,22 \frac{\text{USD}}{\text{Año}}$.

Por lo tanto se concluye que realizando los cambios propuestos se ahorrará $12.671,42 \frac{\text{USD}}{\text{Año}}$ en facturación de energía eléctrica por costos de operación de los compresores.

5.4 MEJORA EN ACCESORIOS Y SISTEMAS DE MEDICIÓN

5.4.1 EVALUACIÓN TÉCNICA

Para corregir el estado de las válvulas reguladoras de presión se propone realizar un mantenimiento completo a cada una. Mediante esta acción se requiere la intervención en: manómetros, empaques y cuerpo del accesorio, con esto se garantiza la correcta visualización y control de parámetros

5.4.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA

Para la ejecución de esta propuesta no se incurre en costos por adquisición de repuestos ya que están disponibles en la bodega de la planta para su inmediata reposición y la mano de obra para adecuar externamente las válvulas se propone coordinar con el departamento de mantenimiento para su realización. Por lo tanto en este ítem no existe ahorros económicos

5.5 DETECCIÓN Y CORRECCIÓN DE FUGAS DE AMONIACO EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

5.5.1 EVALUACIÓN TÉCNICA

Como se mencionó en el capítulo 3, se empleó 1960 Kg. de amoníaco, para reponer al sistema la cantidad adecuada, para su correcto funcionamiento. Esta

pérdida de refrigerante se debe a dos causas importantes: mezcla con el aceite de lubricación del compresor y fugas en el sistema de distribución.

Para evitar el desperdicio del amoniaco se propone realizar una inspección en busca de fugas en el sistema de distribución, empleando una solución de jabón relativamente viscosa, que forma burbujas visibles a simple vista. Este procedimiento describe el anexo F6.

5.5.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA

Una vez detectadas las fugas, se debe realizar un plan de acción con el fin de corregirlas. Para evitar inversiones económicas por mano de obra, se propone coordinar con el departamento de mantenimiento para que los técnicos realicen esta inspección considerando que el método es fácil de realizar e interpretar.

Se esperaría en un porcentaje conservador un 80% de reducción del consumo total cuantificado³³, si se logra esto y se considera el mismo consumo para el año siguiente los ahorros serán:

$$\text{Ahorro del consumo de amoniaco} = 1960 \text{ Kg} * \frac{80\%}{100\%} = 1568.80$$

$$\text{Costo amoniaco} \left[\frac{\text{USD}}{\text{Kg}} \right] = 1.05$$

$$\text{Ahorro por consumo de amoniaco} = 1568.80 \text{ Kg} * 1.05 \frac{\text{USD}}{\text{Kg}}$$

$$\text{Ahorro por consumo de amoniaco} = 1647.24 \text{ USD.}$$

5.6 RESUMEN DE LOS AHORROS ECONÓMICOS DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA

Los ahorros energéticos y económicos en el sistema de refrigeración, se resumen en la tabla N° 5.16

³³PRONACA, Departamento de mantenimiento, 2012

Tabla N° 5. 16 Ahorros energéticos y económicos en el sistema de refrigeración de la planta de elaborados y embutidos de PRONACA

Mejoras Propuesta		Inversión [USD]	Ahorro energético actual [Kw-h/Año]	Ahorro económico anual [USD]
Mejoramiento del COP	CTE0 9000	Nula	8.166,06	661,45
	CTE1 900			
	CTE1 1000	Nula	1.144,74	92,72
	HN00 1000	Nula	141,87	11,49
	PNEN 3000	Nula	2.583,13	209,23
	CTEO A00	Nula	9.715,58	786,96
Cambio de paneles aislantes en las cámaras que presentan infiltraciones de aire		44.483,56	156.437,28	12.671,42
Mantenimiento de las válvulas reguladoras de presión		Nula	0,00	0,00
Detección y corrección de fugas de amoníaco en el sistema de distribución		Nula	0,00	1.647,24
TOTAL		44.483,56	178.188,66	16.080,52

En el capítulo 3 se llegó a establecer que la planta de elaborados y embutidos de PRONACA gasta $326.086,9 \frac{USD}{año}$, por concepto de energía eléctrica. Por lo tanto, implementando las recomendaciones citadas, se lograría reducir esa cantidad a 310.006,38 USD ($326.086,9 - 16.080,52$), lo cual representa un ahorro del 4.93 % del costo que tiene actualmente la planta.

5.7 COSTOS DEL PROYECTO

Para este análisis se considera dos tipos de costos: costos de inversión y costos de operación. Los costos del proyecto se refieren a los egresos o inversiones necesarias para obtener los ahorros económicos propuestos y se resumen en la figura N° 5.2

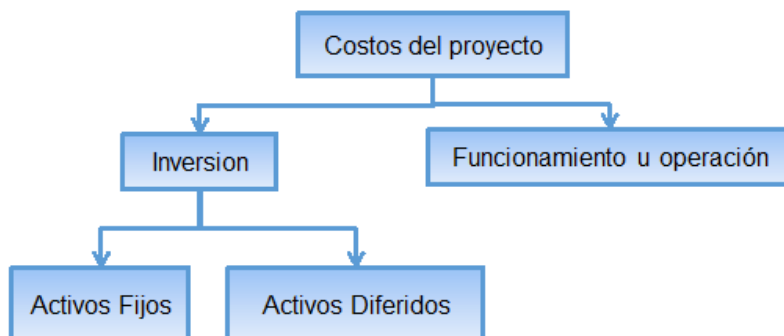


Figura N° 5.2 Resumen de costos del proyecto

5.7.1 COSTOS DE INVERSIÓN

Este ítem tiene que ver con la compra o adquisición de los activos fijos que se propuso (paneles aislantes). La tabla N° 5.17 detalla el costo para esta acción.

Tabla N° 5.17 Inversión en activos fijos

Activo Fijo	Costo [USD]
Cambio de paneles aislantes en las cámaras que presentan infiltraciones de aire	44.483,56
TOTAL EN ACTIVO FIJO	44.483,56

5.7.2 COSTOS DIFERIDOS

Son aquellos necesarios para obtener los beneficios esperados. La tabla N°5.18 los costos diferidos para el proyecto.

Tabla N° 5.18 Inversión en activos diferidos

Activo	Costo Total [USD]
Auditoría energética (13,9 USD/día x 150 días)	2085
Inspección termográfica de las cámaras de refrigeración	600
Supervisor de obra (1.5% de la inversión total en activo fijo)	667,25
TOTAL EN ACTIVO DIFERIDO	3.352,25

La tabla N° 5.19 indica el total de costos de inversión que debería asumir la planta para implementar el proyecto

Tabla N° 5.19 Inversión total en activo fijo y diferido

Activo	Costo [USD.]
Inversión total en activo fijo	44.483,56
Inversión total en activo diferido	3.352,25
Subtotal	47.835,81
+ 5% de imprevistos	2.391,79
COSTO TOTAL DE LA INVERSION	50.227,60

5.7.3 COSTOS DE OPERACIÓN

Como se mencionó en los apartados anteriores el costo por metro cuadrado de panel instalado ya incluye mano obra por partes del proveedor, por lo que este ítem requiere inversión nula.

5.7.4 DEPRECIACIÓN Y AMORTIZACIÓN

Basándonos en la Ley de Régimen Tributario Interno³⁴, en la que cita dos literales que se tomaran como referencia en este proyecto. El primero indica que el porcentaje de depreciación permitido para los activos fijos (máquinas, equipos), será de un 10% anual y el segundo que las amortizaciones de los costos y gastos acumulados en la investigación o ampliaciones y mejoramiento de la planta, se efectuarán en un período no menor a cinco años en porcentajes anuales iguales.

La tabla N° 5.20 indica la depreciación de los activos fijos y la amortización de los activos diferidos (aplicando el método de depreciación lineal, que toma en cuenta la vida útil del activo)

³⁴ <http://www.sri.gob.ec/web/guest/depreciacion>

Tabla N° 5.20 Depreciación, amortización de activo fijo y diferido

Activo	Valor	Depreciación	1	2	3	4	5	VR
Cambio de paneles aislantes en las cámaras que presentan infiltraciones de aire	44.483,56	10%	4.448,36	4.448,36	4.448,36	4.448,36	4.448,36	22.241,78
TOTAL			4.448,36	4.448,36	4.448,36	4.448,36	4.448,36	22.241,78

5.7.5 FLUJO NETO DE EFECTIVO

Este proyecto se extiende a cinco años tomando en cuenta la inflación. De acuerdo al informe mensual de inflación del mes de enero del 2013 realizado por el Banco Central³⁵, la aceleración de la tasa de inflación observada en ese mes (0.5 %) confirma y acentúa el declive inflacionario que se viene observando desde septiembre del 2012

Esta tendencia condujo a que la inflación en enero 2013 se ubique en 4.10%. En este sentido, en el Ecuador se espera un índice inflacionario de entre el 4% y el 4.5% en los próximos años.

Haciendo referencia a los valores mencionados y considerando una inflación del 4.5% la tabla N° 5.21 indica el flujo neto de efectivo.

³⁵ http://www.bce.fin.ec/resumen_ticker.php?ticker_value=inflacion

Tabla N° 5.21 Flujo neto de efectivo

Año		0	1	2	3	4	5
+ Ingresos Ahorros		0,00	16.080,52	16.804,15	17.560,33	18.350,55	19.176,32
	Activos Fijos	44.483,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Activos Diferidos	3.352,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Subtotal		47.835,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
- Inversión	5% imprevistos	2.391,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Inversión Total	50.227,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
- Costo de operación		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
= Utilidad Bruta		-50.227,60	16.080,52	16.804,15	17.560,33	18.350,55	19.176,32
- 15 % Participación trabajador		0,00	2.412,08	2.520,62	2.634,05	2.752,58	2.876,45
= Utilidad antes del impuesto		-50.227,60	13.668,44	14.283,52	14.926,28	15.597,96	16.299,87
-25 % Impuesto a la renta		0,00	3.417,11	3.570,88	3.731,57	3.899,49	4.074,97
= Utilidad después del impuesto		-50.227,60	10.251,33	10.712,64	11.194,71	11.698,47	12.224,90
+ Depreciación		0,00	4.448,36	4.648,53	4.857,72	5.076,31	5.304,75
= Flujo neto de efectivo FNE		-50.227,60	14.699,69	15.361,17	16.052,43	16.774,79	17.529,65

FUENTE[Propia]

5.8 CÁLCULO DE INDICADORES ECONÓMICOS

Los indicadores económicos nos ayudan a determinar si la inversión que se realiza en un proyecto es rentable o no, en este proyecto se utiliza el VAN, TIR y el análisis beneficio/costo.

5.8.1 VALOR ACTUAL NETO “VAN”

Para calcular el VAN se utilizara la ecuación N° 5.4 para un período de 5 años.

$$VAN = \frac{FNE_0}{(1+i)^0} + \frac{FNE_1}{(1+i)^1} + \frac{FNE_2}{(1+i)^2} + \frac{FNE_3}{(1+i)^3} + \frac{FNE_4}{(1+i)^4} + \frac{FNE_5+VR}{(1+i)^5} \quad \text{Ec. 5. 4}$$

FNE = Flujo neto del efectivo desde el año cero hasta el año 5

VR = Valor residual o de salvamento = 22.241,78 (tabla N° 5.20)

El valor residual VR debe ser cambiado, ya que se ve afectado por la inflación, para esto se llevará a un valor futuro

$$VR = 22.241,78 * (1 + 0.045)^5$$

$$VR = 27.717,30 \text{ USD}$$

La tasa mínima aceptable de rendimiento o TMAR es la “i” de la ecuación N° 5.4. Este factor representa la tasa mínima de ganancia sobre la inversión que va a realizar la planta para su cálculo se utiliza la ecuación N° 5.5

$$i = \text{TMAR} = r + f + rf \quad (\text{Ec. 5. 5})$$

r = Premio al riesgo 10%

f = Inflación (4,5 %)

$$\text{TMAR} = 0.1 + 0.045 + (0.1 * 0.045)$$

$$\text{TMAR} = 0.1495 = 14.95\%$$

Con estos datos se procede a calcular la ecuación N° 5.4, para hallar el VAN obteniéndose los resultados que muestra la tabla N° 5.22:

Tabla N° 5.22 Valor actual neto del proyecto

Período	TMAR o "i"	VAN
0	0,1495	-50.227,60
1		12.787,90
2		11.625,36
3		10.568,51
4		9.607,74
5		22.544,70
TOTAL		16.906,60

Como indica la tabla anterior, la suma total de cada período es el VAN espositivo por lo tanto se concluye que la inversión es aceptable.

5.8.2 TASA DE RETORNO INTERNO "TIR"

Para hallar su valor, emplea la ecuación N° 5.4 en la que se dan valores al factor "i" hasta hallar uno que permita al VAN hacerse cero. Para este cálculo se emplea el programa "EXCEL", que nos da el siguiente resultado:

$$\text{TIR} = 17.44 \%$$

En base al índice hallado, se concluye que la inversión es económicamente rentable, ya que el TIR es mayor que el mínimo fijado como aceptable (TMAR).

5.8.3 ANÁLISIS BENEFICIO- COSTO "B/C"

La teoría dice que " *un proyecto se considera atractivo cuando los beneficio derivados desde su implantación exceden a los costos asociados* ".³⁶ Para utilizar este indicador previamente se debe traer a valor presente los ingresos y egresos del estado de pérdidas y ganancias como indica la tabla N° 5.23, además se debe aplicar la ecuación N° 5.6, para su cálculo.

³⁶TARQUÍN, Blanck, Ingeniería económica, 1994, 3ra edición, pp. 206

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum \text{Ingresos actualizados}}{\sum \text{Egresos actualizados}} \quad (\text{Ec. 5. 6})$$

Tabla N° 5.23 Ingresos y egresos traídos a valores presentes

Año	Ingresos [USD]	Egresos [USD]	Ingresos Actualizados [USD]	Egresos Actualizados [USD]
0	0,00	50.227,60	0,00	50.227,60
1	16.080,52	0,00	13.989,14	0,00
2	16.804,15	0,00	12.717,40	0,00
3	17.560,33	0,00	11.561,28	0,00
4	18.350,55	0,00	10.510,25	0,00
5	19.176,32	0,00	9.554,77	0,00
Total			58.332,85	50.227,60

$$\frac{B}{C} = \frac{58.332,85}{52.818,93} = 1,16$$

Del resultado anterior el índice $\frac{B}{C} = 1,16$ significa que por cada dólar invertido en este proyecto se recibe \$ 1,16 de beneficio.

5.8.4 PERÍODO DE DEVOLUCIÓN

Para determinar el tiempo requerido de recuperación de la inversión se utiliza el método que calcula la cantidad de tiempo requerida para lograr un FNE positivo igual a la inversión inicial. Este análisis no toma en cuenta el valor del dinero en el tiempo y para hallarlo emplea la ecuación N° 5.7:

$$\text{Período de recuperación} = \frac{|FNE_0|}{FNE_1 + FNE_2 + FNE_3 + FNE_4 + FNE_5} * 5 \text{ años} \quad (\text{Ec. 5. 7})$$

Reemplazando los valores se tiene que:

$$\text{Período de recuperación} = 0.625 \text{ año} = 7.5 \text{ mes}$$

CAPÍTULO 6

INFORME DE LA AUDITORÍA ENERGÉTICA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

6.1 INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de este proyecto es proponer una auditoría energética en el sistema de refrigeración de la planta de elaborados y embutidos de PRONACA, mediante la aplicación de una auditoría preliminar y detallada empleando principios termodinámico y ahorro energético

Se citan propuestas para un ahorro energético y económico, las cuales están enfocadas en la reducción del consumo, generando mayor eficiencia en los procesos termodinámicos. Es necesario que dichas propuestas sean implantadas y se empiece un programa monitoreo de la energía en el sistema, que comprendería la verificación de la reducción de energía, ahorros económicos conseguidos y análisis técnico - económicamente de nuevas propuestas de mejora que brinden ahorros energéticos.

Este proyecto constituye el pilar inicial para determinar pérdidas anuales de energía en el sistema de refrigeración y los resultados técnico-económicos esperados con la aplicación de las propuestas planteadas.

6.2 RESUMEN EJECUTIVO

En la auditoría energética del sistema de refrigeración de la planta de elaborados y embutidos de PRONACA, se realizó dos actividades importantes en la primera consistió en la recopilación de parámetros de operación de los equipos con amoníaco y halocarburo para determinar el Coeficiente de Desempeño (COP). En los ciclos con amoníaco se determinó un COP real para relacionar con el ideal y así establecer un índice conocido como “eficiencia del refrigerante” que según recomendaciones de la CONAE, para amoníaco sugiere un valor mínimo de 0.83

Como resultado se obtuvo que en condiciones actuales la eficiencia del refrigerante en los ciclos con amoníaco tienen valores de: 0.956 en acondicionamiento de aire, 0.959 a presión media de evaporación y 0.834 a presión baja de evaporación en el ciclo de dos etapas. Por lo tanto se concluye que el refrigerante trabaja eficientemente en los ciclos con amoníaco.

En los ciclos con halocarburos se comprobó que los equipos no operan entre un DT adecuado para los diferentes procesos productivos, a excepción de los ciclos de las unidades HN001000 y HN002000,

La segunda actividad mediante una cámara termográfica FLIR modelo E60 para identificar zonas críticas donde se pierde energía, se analizó las cámaras: CN00A000, CN002000, CN006000, CN007000, CN008000, Cámara temporal (almacenamiento de jamones) y HN002000. Mediante la inspección termográfica en las cámaras de frío actualmente se encontró 67 zonas calientes internas y 22 zonas frías en las puertas de ingreso.

Se identificó que las zonas calientes se deben a dos causas: 1) variaciones de temperatura debido a un mal aislamiento térmico en las uniones entre paneles y 2) por infiltración de aire externo. En el primer caso están involucradas las cámaras CN00A000 y cámara temporal, calculando el flujo de calor (ganancias de calor) se obtuvo que las anomalías aportan 0,011 [kW], a la carga térmica, valor nada representativo. En el segundo caso se calculó las pérdidas de energía en las cámaras CN002000, CN006000, CN007000, CN008000, y HN002000, obteniéndose un flujo de calor de 71,48[kW] valor representativo.

Para remediar estos desperdicios de energía se han propuesto mejoras para ahorrar energía en el sistema que consisten en mejoras en: COP's en los ciclos con halocarburos, aislamiento en las cámaras de refrigeración, accesorios del sistema de distribución, detección y corrección de fugas de amoníaco en el sistema de distribución.

La primera mejora propone nuevos puntos de ajuste en base al parámetro DT y la humedad relativa del espacio refrigerado, por lo que se sugiere que para porcentajes de humedad entre 95-91 % un DT entre 8-10 ° F y para 90-86 % un DT de 10-12 ° F. Con estos se cita nuevos puntos de ajuste en las unidades individuales, a excepción de HN001000 y HN002000 cuyos parámetros se acogen

a los rangos mencionados. Por esta acción se consigue un ahorro de energía total de $21751.38 \frac{\text{Kw-h}}{\text{año}}$ que en términos económicos representa $1761.86 \frac{\text{USD}}{\text{Año}}$.

La segunda mejora consiste en cambiar los paneles aislantes en las cámaras donde existen infiltraciones de aire a través de las zonas calientes, se propone utilizar paneles con las siguientes características: espesor de 100 mm, paneles tipo sándwich de espuma de poliuretano con dimensiones para las paredes laterales de 1.20 x 3.5 mts. y para el techo de 1.20 x 6 mts. Con esto se logra cubrir el área lateral igual a 579.7 m² y 636 m² en techo, utilizando 151 y 96 unidades respectivamente. El costo que involucra la mejora es 44.483,56 USD, con esto se lograría reducir las pérdidas de energía a través de infiltraciones de aire en las zonas calientes que actualmente representan un costo de 12.671,43 USD/Año.

La tercera mejora consiste en realizar un mantenimiento completo a cada válvula reguladora de presión con el fin de garantizar su adecuado funcionamiento. Esta propuesta no se incurre en costos por adquisición de repuestos ya que están disponibles en la bodega de la planta.

Finalmente en el año 2011 se empleó 1960 Kg de amoníaco, para reponer la cantidad que se consumió por dos posibles causas: mezcla con el aceite de lubricación del compresor y fugas en las instalaciones del sistema, Para aliviar esta pérdida económica se cita la propuesta con la que se propone un procedimiento para determinar fugas de amoníaco en las instalaciones empleando una solución de jabón relativamente viscosa, que forma burbujas que a simple vista pueden verse. Con esto y las correcciones que se den en el sistema de distribución se espera una reducción del 80% del consumo total cuantificado, que económicamente representaría un ahorro de 1647.24 USD si se considera el mismo consumo para el año siguiente.

Con todas las propuestas de mejora se logró conseguir un ahorro energético de 178.188,66 [Kw-h/Año] que en términos monetarios es 16.080,52USD/año, frente a una inversión de 44.483,56USD, por el cambio de paneles en las cámaras con infiltración de aire. Para verificar si la inversión es rentable se utilizó indicadores económicos obteniéndose los siguientes resultados: VAN igual a 16.906,60 USD,

TIR igual a 17.44 %, beneficio-costo de $\frac{B}{C} = 1,16$ y tiempo de recuperación 7.5 meses. Con lo cual se concluye que la inversión es económicamente aceptable, por cada dólar invertido en este proyecto se recibe \$ 1,16 de beneficio y su tiempo de recuperación es corto.

6.3 PLAN DE ACCIÓN DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA

Se plantea acciones antes y después de la implantación de las propuestas de mejora. Con el objeto de realizar el seguimiento adecuado para verificar que el ahorro energético y económico sean los esperados antes de implantarlas es fundamental llevar a cabo ciertas acciones que a continuación se mencionan.

- Instalar un medidor de presión y temperatura antes de las válvulas de expansión termostáticas para verificar que los parámetros propuestos sean viables en este proceso
- Revisar y calibrar los parámetros de operación en los compresores, condensadores evaporativos, unidades condensadoras y evaporadores del sistema
- Verificar y calibrar mensualmente el estado de las válvulas de expansión termostáticas y válvulas reguladoras de presión.
- Una vez determinada los lugares donde existe fugas de amoníaco, planificar la pronta reparación de las mismas.
- Realizar un análisis de las variaciones de temperaturas en las cámaras para verificar si se cumple con los rangos permitidos

6.4 PLAN DE MONITOREO DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA

Una vez que las propuestas de mejora sugeridas han sido implantadas, es necesario realizar un seguimiento de las mismas para verificar que los ahorros de energía y ahorros económicos que se consiguen sean los esperados. Para esto se debe utilizar un método de evaluación para determinar, si las mejoras energéticas, existen y dan los beneficios esperados. Se plantea un protocolo de

Monitoreo & Verificación (M&V) que se utiliza para determinar el valor y la distribución de los beneficios de las propuestas de mejora.

El monitoreo consiste en la ejecución planeada de secuencias de observaciones o mediciones, debe evaluar si las propuestas establecidas están operando tal y como se planearon. La verificación debe confirmación por medio de la provisión de evidencia objetiva de que los requisitos específicos planteados en las propuestas de mejora han sido cumplidos.

Una vez analizados estos puntos se procede a establecer dos puntos importantes para determinar el desempeño total de la instalación completa.

Desempeño Estipulado

El M&V está basado en la medición del factor de desempeño acordado (por ejemplo, horas de operación, índice energético, etc.) y aplicado al desempeño de los equipos antes y después de la implementación de la medida de ahorro de energía.

Desempeño Medido

Las propuestas implementadas son monitoreadas continuamente para medir y verificar su desempeño. Estas son comparadas contra una base de referencia para determinar el nivel de beneficio alcanzado.

Desempeño de la Instalación Completa

Esta aproximación es mejor en situaciones donde la planta quiere medir interacciones entre los sistemas cuando las medidas implementadas individualmente no pueden ser evaluadas directamente. El M&V debe ser lo suficientemente riguroso para asegurar el desempeño del proyecto, pero sin que desmejore económicamente el proyecto.

CAPÍTULO 7

7.1 CONCLUSIONES

- La planta de elaborados y embutidos de PRONACA al año 2011 tuvo un promedio de consumo de energía eléctrica de 4'043,072.19 kW-h lo cual represento un costo de 326,086.86 USD anuales. Del consumo total de energía eléctrica, el 58% consume el sistema de refrigeración, es decir 2.340.725,09 kW-h, lo que en términos monetarios es USD 189.598,73. Por lo tanto el sistema de refrigeración es el más costoso de la planta.
- Mediante la inspección termográfica en las cámaras de refrigeración se encontró 22 áreas frías en las puertas de ingreso y 67 áreas calientes en el interior. Se identificó que las zonas calientes se deben a dos causas: 1) variaciones de temperatura debido a una falta de aislamiento térmico en las uniones entre paneles y 2) por infiltración de aire externo.
- Utilizando el concepto de eficiencia del refrigerante y el valor mínimo recomendado por la CONAE para el amoníaco de 0.830, se calculó índices de: 0.956 en el ciclo de acondicionamiento de aire, en el ciclo de dos etapas 0.959 a presión de evaporación media y 0.834 a presión de evaporación baja, con lo que se garantiza que el refrigerante trabaja eficientemente.
- Se demostró que en las cámaras CN00A000 y almacenamiento temporal de jamones las zonas calientes no aportan un flujo de calor extra al recinto ya que su valor de 0.014 [kW] no es considerable, por lo tanto esta anomalía no provoca el aumento de temperatura interna en las mismas. En cambio en las cámaras CN002000, CN006000, CN007000, CN008000 y HN002000 con infiltración de aire, el flujo de calor es 71,48 [kW] valor que aumenta la carga térmica al sistema y sus temperaturas internas en cada una.

- Las principales oportunidades de mejoras energéticas en el sistema de refrigeración son: mejoramiento de COP's en los ciclos con halocarburos, mejoramiento de aislamiento en las cámaras, detección y corrección de fugas de refrigerante, y mejora en accesorios del sistema de distribución.
- El mejoramiento del aislamiento propone el cambio de paneles aislantes en las cámaras que tiene infiltración de aire cuyo costo es 44.483,56USD, propuesta que a largo plazo garantiza el ahorro energético si se supervisa correctamente la instalación de los paneles aislantes.
- En las unidades individuales de halocarburos se detectó que los puntos de ajuste promueven a que los parámetros DT no sean los adecuados para sus procesos productivos, a excepción de los equipos HN001000 y HN002000. Para remediar esto se propuso nuevos puntos de ajuste con lo que se consigue un ahorro energético de 21751.38 kW-h/año que en términos monetarios equivale a 1761,86 USD/Año.
- El ahorro energético total que se puede obtener con las propuestas de mejora en el sistema de refrigeración es 178.188,66kW-h/año, que en términos monetarios es 16.080,52USD/año. Con lo que se lograría reducir el gasto total por consumo de energía eléctrica a 310.773,17 USD (326.086,9 – 16.080,52), lo que representa un ahorro del 4.93 % del costo que tiene actualmente la planta.
- Los indicadores económicos; VAN, TIR y B/C establecen que el proyecto propuesto en la planta es económicamente rentable y su tiempo de recuperación es de 7.5 meses.
- La inspección termográfica para detectar pérdidas de energía en las cámaras de refrigeración, es un ensayo no destructivo que permite detectar desperfectos que a simple vista no se observan, dichas anomalías se puede visualizar en la pantalla LCD de la cámara, a través de la variación de colores en una escala que indica como varia la temperatura.
- La eficiencia energética se plantea como un aporte decisivo para conseguir importantes ahorros económicos. Si esta se ejecuta en niveles

empresariales, residenciales y comerciales se conseguirán además beneficios ambientales.

- La auditoría energética es un medio efectivo para el aprovechamiento eficiente de la energía y es la línea base para la aplicación de un programa de administración de la energía, ya que provee información de pérdidas actuales de energía anualmente y propone oportunidades de ahorro con su respectivo análisis técnico-económico.

7.2 RECOMENDACIONES

- Se debe realizar una evaluación actual de las capacidades de los equipos de refrigeración, con este análisis se complementara el presente proyecto y se podrá verificar la capacidad actual del sistema de refrigeración.
- Se debe continuar con el tratamiento de agua y mantenimiento de los equipos de refrigeración para garantizar su operación adecuada y alargar su vida útil.
- Para garantizar que los sistemas de medición están calibrados de debe validar sus parámetros con equipos calibrados en un instituto de normalización como el INEN.
- Con el fin de determinar que tanto afecta las pérdidas de presión de uno a otro proceso se recomienda instalar medidores de presión y temperatura antes del proceso de expansión en cada ciclo.
- En la succión de los compresores se recomienda asilar las válvulas cercanas al compresor, para evitar posibles daños al equipo si el refrigerante llegara a condensarse.
- Con el objetivo de mejorar la eficiencia en el condensador evaporativo, se recomienda realizar estudio técnico y económico para para recuperar el calor del refrigerante.
- En los condensadores evaporativos se debe mantener el interior lo más limpios posibles, ya que las suciedades como algas o lodo impiden que el agua efectúe un buen proceso de condensación del refrigerante.

- Si se requiere ampliar la capacidad de producción de frío, es recomendable utilizar unidades individuales y evaporadores con halocarburos, ya que su funcionamiento o para, no afecta a otros equipo, caso contrario que pasa en el sistema centralizado de amoniaco
- Se recomienda aumentar las frecuencias de inspección de las válvulas reguladoras de presión a la salida de los evaporadores en los sectores de elaboración y empaque.
- Se debería realizar un inventario de las válvulas de expansión termostáticas para verificar si sus características son las adecuadas en cada evaporador y así poder validar el proceso de expansión.
- Se recomienda realizar acciones de capacitación para concienciar sobre el uso adecuado de la energía eléctrica, considerando que en la actualidad todavía existen plantas termoeléctricas que contaminan el ambiente

BIBLIOGRAFÍA

- ROY J. DOSSAT, Principios de refrigeración, 1980
- ASHRAE, Handbook of refrigeration, 1994
- ASHRAE, Handbook of fundamentals, 2001
- STOECKER, Refrigeración y acondicionamiento de aire, 1978,
- TARQUIN J., Blanck, L., Ingeniería económica, Edición3ra, 1994
- CENGEL, Termodinámica, Mc Graw Hill, 6ta Edición,2009
- CONAE, Comisión Nacional para el ahorro de energía
- INCROPERA, Frank, Fundamentos transferencia de calor, Editorial Prentice Hall, 1999
- BORROTO, Aníbal, Curso de gestión energética en sistemas térmicos, 2007
- WELTY, Fundamentos de transferencia de calor y masa, Editorial Limusa, 1960
- MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS, Eficiencia Energética Electricidad, Programa de ahorro de energía (PAE), 2000
- PRONACA, Catálogo de condensadores evaporativos marca VILTER, 1993
- PRONACA, Catálogo de la máquina de hielo, North Star, , 1993
- PRONACA, Departamento de Producción, 2012
- PRONACA, Departamento de Mantenimiento, 2012
- UNIVERSIDAD DE SEVILLA, Colección de tablas y graficas de instalaciones frío o calor, 2006

TESIS

- PALACIOS, José Luis; 2009, Auditoría energética de la caldera y el sistema de distribución de vapor de la planta de elaborados y embutidos de PRONACA, Tesis EPN, Quito, Ecuador.
- ALMEIDA, Jhonny Xavier; 2007, Auditoría exergética y elaboración del proyecto de optimización del uso de la energía en la industria lechera Carchis.a, ILCSA, Tesis, ESPE, Sangolqui, Ecuador.
- NUÑEZ, Eduardo; 2007 Propuesta de subenfriamiento mecánico para mejorar el uso de la energía en sistema de refrigeración por compresión mecánica de vapor, Tesis de maestro en Ciencias de ingeniería Mecánica, Instituto politécnico Nacional, México D. F.

PAGINAS WEB

- http://www.bce.fin.ec/resumen_ticker.php?ticker_value=inflacion
- <http://www.conae.gob.mx>
- <http://www.pronaca.com>
- <http://www.ablandadores-agua.com.ar/funcionamiento.html>
- <http://www.coiron.com.ar/productos.php>
- <http://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures>
- <http://www.sri.gob.ec/web/guest/depreciacion>
- http://www.bce.fin.ec/resumen_ticker.php?ticker_value=inflacion

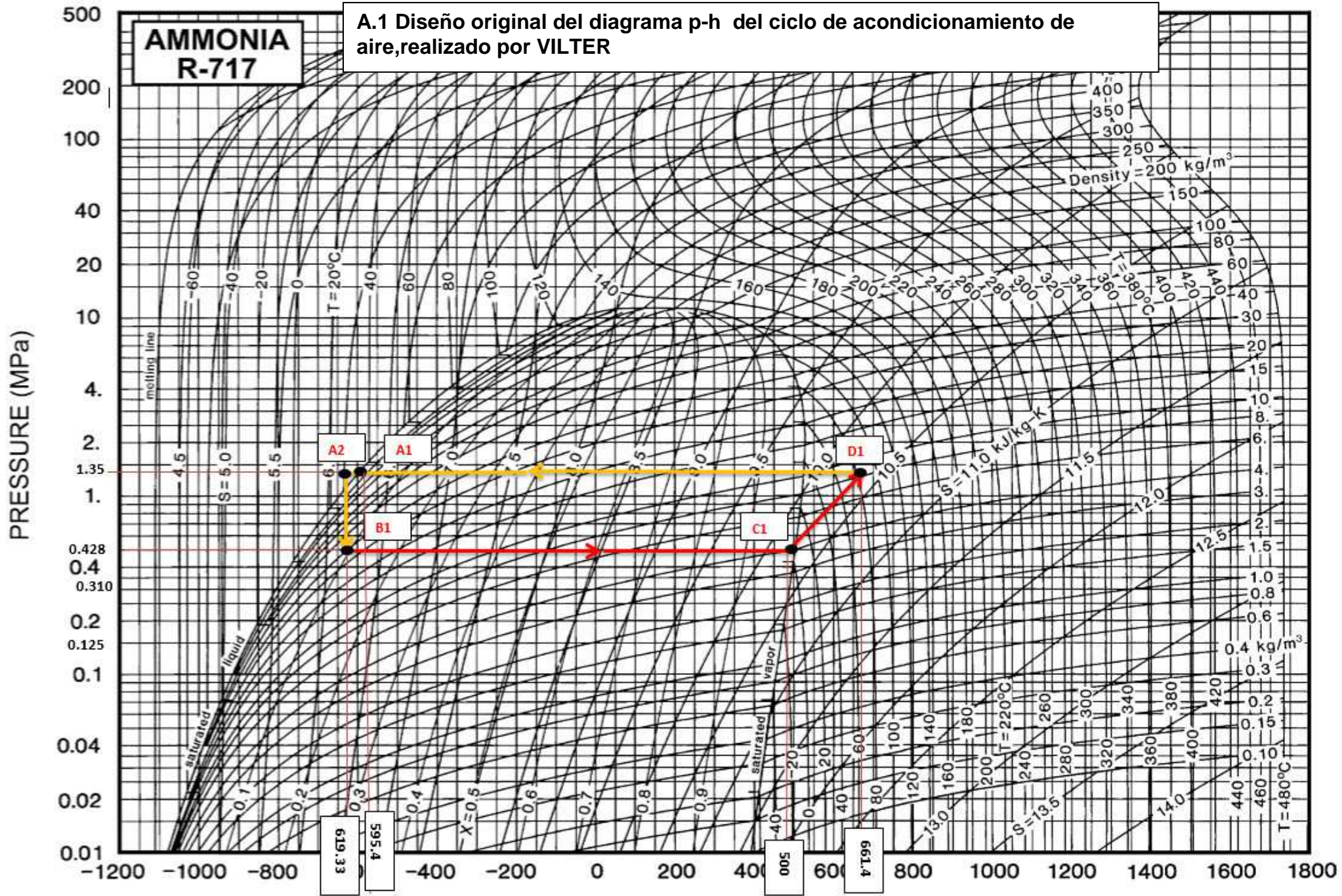
ANEXO A

A.1 Diseño original del diagrama p-h del ciclo de acondicionamiento de aire, realizado por VILTER e implantado en PRONACA, en el año 1993

A.2 Diseño original del diagrama p-h del ciclo de refrigeración de dos etapas realizado por VILTER e implantado en PRONACA, en el año 1993

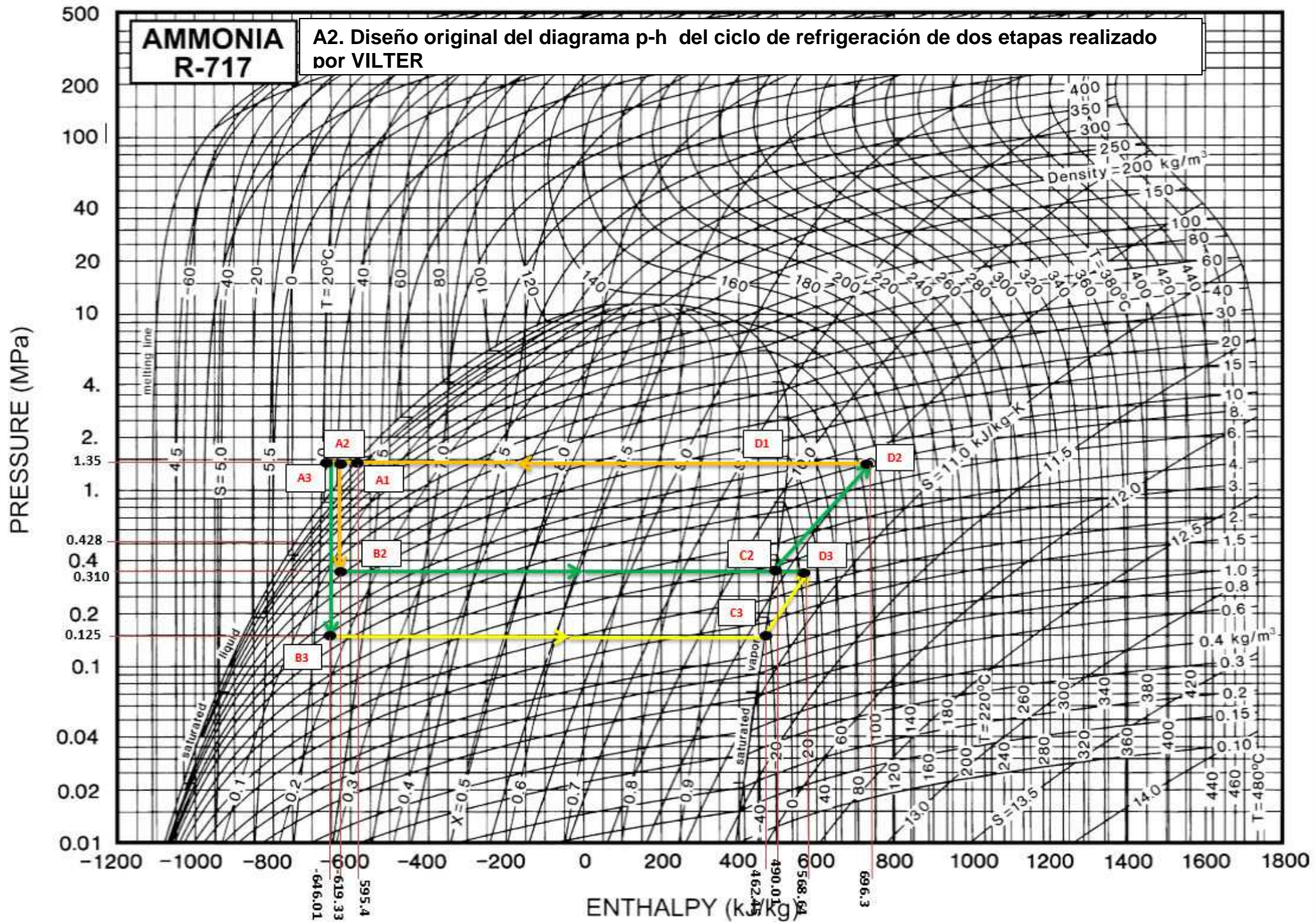
**AMMONIA
R-717**

A.1 Diseño original del diagrama p-h del ciclo de acondicionamiento de aire, realizado por VILTER



**AMMONIA
R-717**

A2. Diseño original del diagrama p-h del ciclo de refrigeración de dos etapas realizado por VILTER



ANEXO B

B1. Diagrama de flujo de la programación y ejecución de mantenimientos preventivos programados PRONACA embutidos y elaborados.

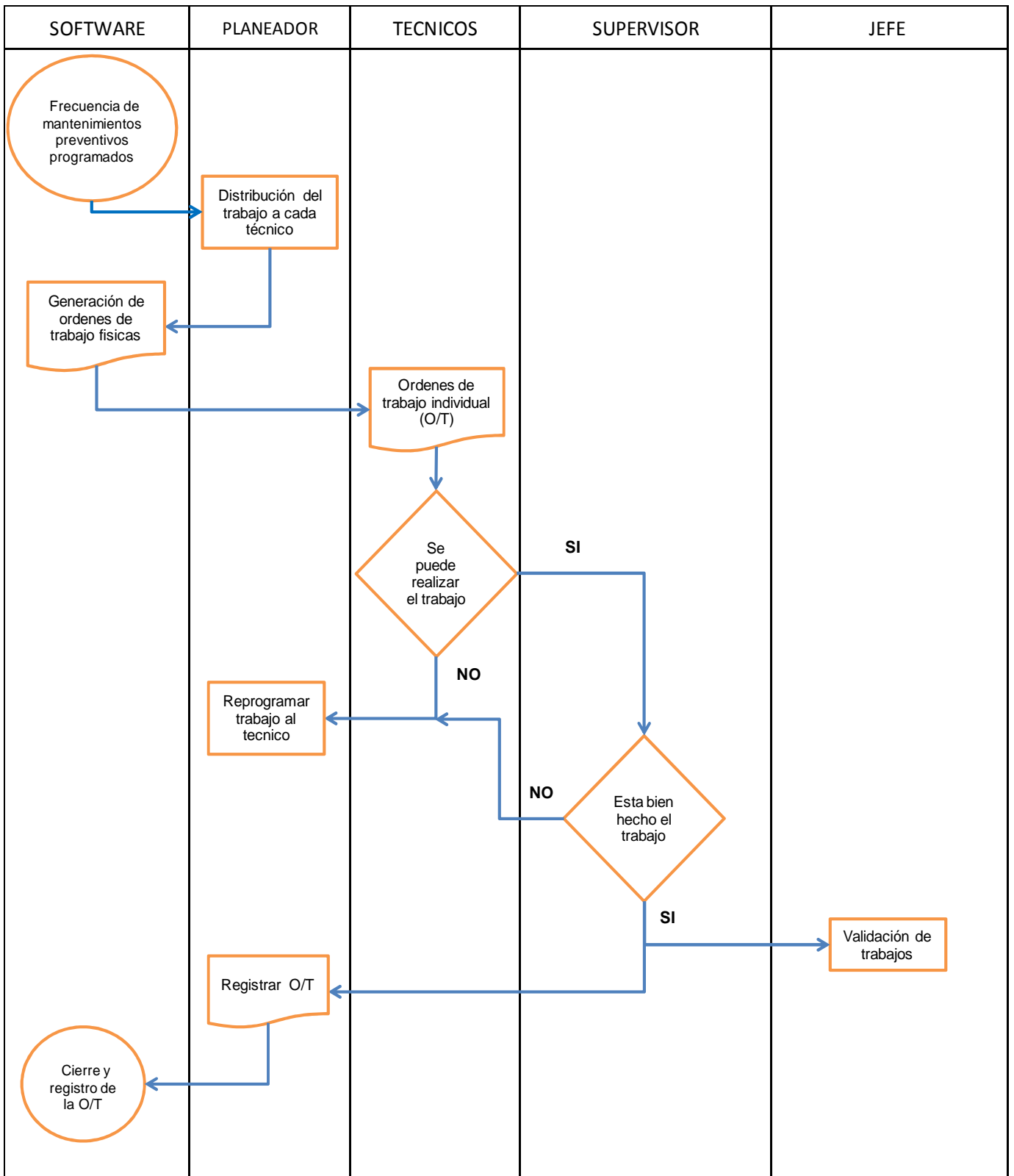
B2. Mantenimientos realizados a los equipos del sistema de refrigeración

B3. Parámetros de funcionamiento del sistema (Día 1 y 2)

B4. Resumen del análisis estadístico de la información

B5. Especificaciones técnicas de la cámara termográfica

B1. Diagrama de flujo de la programación y ejecución de mantenimientos preventivos programados PRONACA embutidos y elaborados.



B2. Mantenimientos realizados a los equipos del sistema de refrigeración

Código Anterior	Código Anterior	Código del mantenimiento	Descripción del mantenimiento
SNCM1000	05-COMREC-0001	MP-05-LIMPIE-80-S4	LIMPIEZA 775 DE TABLEROS ELECTRICO
		MP-05-LIMPIE-97-S2	LIMPIEZA DE EXTERIOR DE COMPRESORES
		MP-05-FILTRO-11-S9	REVISION Y LIMPIEZA DE FILTROS DE ACEITE
		MP-05-LUBRIR-17-S1	LUBRICACION DE CARTER
		MP-05-INSARE-27-S13	REAJUSTE DE BORNERAS DE TABLERO ELECTRICO
		MP-05-INSARE-62-S9	INSPECCION DE CARTER Y CHEQUEO DE BANDAS
		MP-05-INSARE-93-S4	INSPECCION DE CONTROLES
SNCM2000	05-COMREC-0002	IN-05-INSOPF-09-S4	INSPECCION PARAMETROS OPERACION, OIL COOLER
		MP-05-LIMPIE-80-S4	LIMPIEZA 775 DE TABLEROS ELECTRICO
		MP-05-LIMPIE-97-S2	LIMPIEZA DE EXTERIOR DE COMPRESORES
		MP-05-FILTRO-11-S9	REVISION Y LIMPIEZA DE FILTROS DE ACEITE
		MP-05-LUBRIR-17-S1	LUBRICACION DE CARTER
		MP-05-COMAMO-02-S24	OVERHAUL DE COMPRESOR DE AMONIACO (2)
		MP-05-INSARE-27-S13	REAJUSTE DE BORNERAS DE TABLERO ELECTRICO
SNCM3000	05-COMREC-0003	MP-05-INSARE-62-S9	INSPECCION DE CARTER Y CHEQUEO DE BANDAS
		MP-05-INSARE-93-S4	INSPECCION DE CONTROLES
		IN-05-INSOPF-09-S4	INSPECCION PARAMETROS OPERACION, OIL COOLER
		MP-05-LIMPIE-80-S4	LIMPIEZA 775 DE TABLEROS ELECTRICO
		MP-05-LIMPIE-97-S2	LIMPIEZA DE EXTERIOR DE COMPRESORES
		MP-05-FILTRO-11-S9	REVISION Y LIMPIEZA DE FILTROS DE ACEITE
		MP-05-LUBRIR-17-S1	LUBRICACION DE CARTER
SNCN1000	05-CONDEN-0001	MP-05-INSARE-27-S13	REAJUSTE DE BORNERAS DE TABLERO ELECTRICO
		MP-05-INSARE-62-S9	INSPECCION DE CARTER Y CHEQUEO DE BANDAS
		MP-05-INSARE-93-S4	INSPECCION DE CONTROLES
		IN-05-INSOPF-09-S4	INSPECCION PARAMETROS OPERACION, OIL COOLER
		MP-05-FILTRO-21-S4	LIMPIEZA - FILTROS/BOQUILLAS/TORRE
		MP-05-LIMPIE-32-S13	LIMPIEZA DE CONTROLES Y DE PRESOSTATOS
		MP-05-CONDEN-01-S52	OVERHAUL DE CONDENSADOR (1)
05-VENTIL-0005	VENTILADOR -SNCN1000	MP-05-PURGAR-04-S4	PURGAR AIRE
		IN-05-PREDIC-02-S26	MANTENIMIENTO PREDICTIVO (VIBRACIONES)
		MP-05-LUBRIC-64-S4	LUBRICACION DE CHUMACERAS DEL VENTILADOR
		MP-05-INSARE-38-S9	INSPECCION Y/O AJUSTE DE BANDAS DEL VENTILADOR
SNCN2000	05-CONDEN-0002	MP-05-LIMPIE-82-S4	LIMPIEZA 775 DE CONTROLES Y PRESOSTATOS
		MP-05-FILTRO-21-S4	LIMPIEZA - FILTROS/BOQUILLAS/TORRE
		MP-05-LUBRIC-65-S4	LUBRICACION DE CHUMACERAS
		MP-05-PURGAR-04-S4	PURGAR AIRE
05-VENTIL-0006	VENTILADOR (1) (SNCN2000)	MP-05-INSARE-63-S7	INSPECCION Y/O BANDAS DEL VENTILADOR
05-VENTIL-0004	VENTILADOR (2) (SNCN2000)	MP-05-INSARE-63-S7	INSPECCION Y/O BANDAS DEL VENTILADOR
SNAM1000	05-INTERC-0001	MP-05-PURGAR-07-S1	PURGAR TANQUE DE AMONIACO 1-2 Y 3
		MP-05-INSARE-56-S9	INSPECCION DE TAPA DE VÁLVULA DE SEGURIDAD
		MP-05-INSARE-92-S4	INSPECCION DE CONTROLES ELECTRICOS
SNAM2000	05-INTERC-0002	MP-05-INSARE-56-S9	INSPECCION DE TAPA DE VÁLVULA DE SEGURIDAD
		MP-05-INSARE-92-S4	INSPECCION DE CONTROLES ELECTRICOS
SNAM3000	05-INTERC-0003	MP-05-INSARE-56-S9	INSPECCION DE TAPA DE VÁLVULA DE SEGURIDAD
		MP-05-INSARE-92-S4	INSPECCION DE CONTROLES ELECTRICOS
SNAM4000	05-TANQUE-0004	MP-05-PURGAR-03-S4	PURGAR RECIBIDOR (PURGADOR)
GTE01000	05-EVAPOR-0022	MP-05-FILTRO-01-S52	LIMPIEZA DE FILTROS DE AMONIACO
		MP-05-INSARE-01-S26	INSPECCION DE VÁLVULA SELENOIDE Y HG
05-MOTELE-0108	MOTOR 1 0.25 HP -ETE01000	MP-05-LIMPIE-102-S13	LIMPIEZA 775 DE MOTORES ELECTRICOS DE EVAPORADORES DE ELABORACION
		MP-05-FILTRO-01-S52	LIMPIEZA DE FILTROS DE AMONIACO
GTE02000	05-EVAPOR-0024	MP-05-INSARE-01-S26	INSPECCION DE VÁLVULA SELENOIDE Y HG
		MP-05-FILTRO-01-S52	LIMPIEZA DE FILTROS DE AMONIACO
GTE03000	05-EVAPOR-0026	MP-05-INSARE-01-S26	INSPECCION DE VÁLVULA SELENOIDE Y HG
		MP-05-FILTRO-01-S52	LIMPIEZA DE FILTROS DE AMONIACO
GTE04000	05-EVAPOR-0019	MP-05-INSARE-01-S26	INSPECCION DE VÁLVULA SELENOIDE Y HG
		MP-05-FILTRO-04-S13	LIMPIEZA DE FILTROS DE AMONIACO
MTE01000	05-EVAPOR-0023	MP-05-INSARE-01-S26	INSPECCION DE VÁLVULA SELENOIDE Y HG
		MP-05-FILTRO-04-S13	LIMPIEZA DE FILTROS DE AMONIACO
05-MOTELE-0177	MOTOR 1 0.25 HP -MTE01000	MP-05-LIMPIE-103-S13	LIMPIEZA 775 DE MOTORES ELECTRICOS DE EVAPORADORES DE EMPAQUE
		MP-05-FILTRO-04-S13	LIMPIEZA DE FILTROS DE AMONIACO
MTE02000	05-EVAPOR-0025	MP-05-INSARE-01-S26	INSPECCION DE VÁLVULA SELENOIDE Y HG
		MP-05-FILTRO-04-S13	LIMPIEZA DE FILTROS DE AMONIACO
MTE03000	05-EVAPOR-0027	MP-05-INSARE-01-S26	INSPECCION DE VÁLVULA SELENOIDE Y HG
		MP-05-FILTRO-04-S13	LIMPIEZA DE FILTROS DE AMONIACO
DTE01000	05-EVAPOR-0021	MP-05-INSARE-01-S26	INSPECCION DE VÁLVULA SELENOIDE Y HG
		MP-05-FILTRO-04-S13	LIMPIEZA DE FILTROS DE AMONIACO
CTEO1000	05-EVAPOR-0004	MP-05-FILTRO-02-S26	LIMPIEZA DE FILTROS DE AMONIACO
		MP-05-CAMARA-01-S52	OVERHAUL DE CAMARA 0 SUBCONTRATADO

		MP-05-CAMARA-02-S52	OVERHAUL DE CAMARA 1 SUBCONTRATADO
		MP-05-INSARE-01-S26	INSPECCION DE VÁLVULAS SELENOIDE Y HG
		MP-05-LIMPIE-104-S26	LIMPIEZA-775 DE MOTOR ELECTRICO
		MP-05-CONFUG-03-S9	CONTROL DE FUGAS DE NH3 EN EVAPORADORES CTE01-2-4-5-6-7-8MIL
		MP-05-LIMPIE-06-S26	LIMPIEZA FILTROS AMONIACO, INSP/ARREGLO MECANICO VÁLVULAS SELENOIDE LIQ Y HG
CTEO2000	05-EVAPOR-0011	MP-05-FILTRO-02-S26	LIMPIEZA DE FILTROS DE AMONIACO
		MP-05-CAMARA-03-S52	OVERHAUL DE CAMARA 2 SUBCONTRATADO
		MP-05-INSARE-01-S26	INSPECCION DE VÁLVULAS SELENOIDE Y HG
CTEO5000	05-EVAPOR-0013	MP-05-FILTRO-02-S26	LIMPIEZA DE FILTROS DE AMONIACO
		MP-05-CAMARA-05-S52	OVERHAUL DE CAMARA 5 SUBCONTRATADO
		MP-05-INSARE-01-S26	INSPECCION DE VÁLVULAS SELENOIDE Y HG
CTE15000	05-EVAPOR-0007	MP-05-FILTRO-02-S26	LIMPIEZA DE FILTROS DE AMONIACO
		MP-05-CAMARA-05-S52	OVERHAUL DE CAMARA 5 SUBCONTRATADO
		MP-05-INSARE-01-S26	INSPECCION DE VÁLVULAS SELENOIDE Y HG
CTEO6000	05-EVAPOR-0014	MP-05-FILTRO-02-S26	LIMPIEZA DE FILTROS DE AMONIACO
		MP-05-CAMARA-06-S52	OVERHAUL DE CAMARA 6 SUBCONTRATADO
		MP-05-INSARE-01-S26	INSPECCION DE VÁLVULAS SELENOIDE Y HG
CTEO8000	05-EVAPOR-0016	MP-05-FILTRO-02-S26	LIMPIEZA DE FILTROS DE AMONIACO
		MP-05-CAMARA-08-S52	OVERHAUL DE CAMARA 8 SUBCONTRATADO
		MP-05-INSARE-01-S26	INSPECCION DE VÁLVULAS SELENOIDE Y HG
CTE18000	05-EVAPOR-0009	MP-05-FILTRO-02-S26	LIMPIEZA DE FILTROS DE AMONIACO
		MP-05-CAMARA-08-S52	OVERHAUL DE CAMARA 8 SUBCONTRATADO
		MP-05-INSARE-01-S26	INSPECCION DE VÁLVULAS SELENOIDE Y HG
CTEO7000	05-EVAPOR-0015	MP-05-FILTRO-02-S26	LIMPIEZA DE FILTROS DE AMONIACO
		MP-05-CAMARA-07-S52	OVERHAUL DE CAMARA 7 SUBCONTRATADO
		MP-05-INSARE-01-S26	INSPECCION DE VÁLVULAS SELENOIDE Y HG
HNEN1000	05-CHILLE-0001	MP-05-CONFUG-22-S1	CONTROL DE FUGAS CHILLER (AMONIACO)
		MP-05-PURGAR-09-S4	PURGAR CHILLER (AMONIACO)
05-TANQUE-0013	TANQUE DE NH3 DEL CHILLER -HTAM1000	MP-05-FILTRO-03-S26	LIMPIEZA DE FILTROS DE AMONIACO
CTEO4000	05-EVAPOR-0012	MP-05-FILTRO-02-S26	LIMPIEZA DE FILTROS DE AMONIACO
		MP-05-CAMARA-04-S52	OVERHAUL DE CAMARA 4 SUBCONTRATADO
		MP-05-INSARE-01-S26	INSPECCION DE VÁLVULAS SELENOIDE Y HG
CTE14000	05-EVAPOR-0006	MP-05-FILTRO-02-S26	LIMPIEZA DE FILTROS DE AMONIACO
		MP-05-CONFUG-28-S9	CONTROL DE FUGAS DE NH3 EN EVAPORADORES CTE014-15-17-18MIL
		MP-05-CAMARA-04-S52	OVERHAUL DE CAMARA 4 SUBCONTRATADO
		MP-05-INSARE-01-S26	INSPECCION DE VÁLVULAS SELENOIDE Y HG
CTEO7000	05-EVAPOR-0015	MP-05-FILTRO-02-S26	LIMPIEZA DE FILTROS DE AMONIACO
		MP-05-CAMARA-07-S52	OVERHAUL DE CAMARA 7 SUBCONTRATADO
		MP-05-INSARE-01-S26	INSPECCION DE VÁLVULAS SELENOIDE Y HG
CTE17000	05-EVAPOR-0008	MP-05-FILTRO-02-S26	LIMPIEZA DE FILTROS DE AMONIACO
		MP-05-CAMARA-07-S52	OVERHAUL DE CAMARA 7 SUBCONTRATADO
		MP-05-INSARE-01-S26	INSPECCION DE VÁLVULAS SELENOIDE Y HG
CNGH1000	05-MAQHIE-0001	MP-05-LIMPIE-62-S4	LIMPIEZA DE TANQUE DE ALIMENTACION DE AGUA
		MP-05-MAQHIE-01-S26	OVERHAUL DE MAQUINA DE HIELO
		MP-05-INSARE-10-S13	CALIBRACION DE CUCHILLAS
		MP-05-PURGAR-02-S4	PURGAR DE TANQUE NH3
05-REDUCT-0012	REDUCTOR (SIN FIN) -CNGH1000	MP-05-LUBRIC-32-S4	LUBRICACION DE REDUCTORES TAMBOR Y DE POLEA
05-BOMCEN-0031	BOMBA CENTRIFUGA -CNGH1000	MP-05-LIMPIE-05-S26	LIMPIEZA DE BOMBA DE AGUA
05-MOTELE-0240	MOTOR ELECTRICO -CNGH1000	MP-05-LIMPIE-15-S13	LIMPIEZA 775 DE TABLERO ELECTRICO Y DE MOTOR DE BOMBA DE AGUA
05-TABPOT-0078	TABLERO ELECTRICO DE FUERZA -CNGH1000	MP-05-LIMPIE-15-S13	LIMPIEZA 775 DE TABLERO ELECTRICO Y DE MOTOR DE BOMBA DE AGUA
05-TABCON-0023	TABLERO DE CONTROL -CNGH1000	MP-05-LIMPIE-15-S13	LIMPIEZA 775 DE TABLERO ELECTRICO Y DE MOTOR DE BOMBA DE AGUA
CTEO 9000	05-EVAPOR-0017	MP-05-CAMARA-09-S52	OVERHAUL DE CAMARA 9 SUBCONTRATADO
CTE1 9000	05-EVAPOR-0010	MP-05-CAMARA-09-S52	OVERHAUL DE CAMARA 9 SUBCONTRATADO
HN00 1000	05-CAMCON-0011	MP-05-CAMARA-09-S52	OVERHAUL DE CAMARA 9 SUBCONTRATADO
HN00 2000	05-CAMCON-0012	MP-05-CAMARA-09-S52	OVERHAUL DE CAMARA 9 SUBCONTRATADO
PNEN 1000	05-CAMCON-0013	MP-05-CAMARA-09-S52	OVERHAUL DE CAMARA 9 SUBCONTRATADO
CTE1 1000	05-EVAPOR-0005	MP-05-CAMARA-02-S52	OVERHAUL DE CAMARA 1 SUBCONTRATADO
		MP-05-INSARE-01-S26	INSPECCION DE VÁLVULAS SELENOIDE Y HG
CTEOA000	05-EVAPOR-0003	MP-05-CAMARA-01-S52	OVERHAUL DE CAMARA 0 SUBCONTRATADO

B3. Parámetros de funcionamiento del sistema (Día 1 y 2)

DIA 1

COMPRESORES Y CONDENSADORES EVAPORATIVOS

	Compresor SNCM1000				Compresor SNCM2000				Compresor SNCM3000				Condensador Evaporativo	
	Temperatura (°F)		Presión (Psi)		Temperatura (°F)		Presión (Psi)		Temperatura (°F)		Presión (Psi)		Presión (Psi)	Temperatura ° F
	Suc	Desc	Suc	Desc	Suc	Desc	Suc	Desc	Suc	Desc	Suc	Desc	(Psi)	
7:00 AM	20	260	16	165	38	235	20	165	14	100	10	18	164	89
8:00 AM	34	250	26	170	34	240	20	170	25	250	12	25	169	91
9:00 AM	16	220	24	170	36	250	16	175	16	125	6	26	170	92
10:00 AM	16	220	24	125	28	225	28	175	26	125	2	24	124	67
11:00 AM	20	245	18	160	30	230	24	155	28	160	2	28	159	86
12:00 PM	20	240	20	160	32	240	20	165	24	170	2	22	160	87
1:00 PM	16	210	22	155	32	240	20	160	20	155	6	25	154	83
2:00 PM	16	220	20	180	32	250	22	180	26	155	6	24	179	97
3:00 PM	18	215	28	171	38	245	28	175	16	115	12	26	170	92
4:00 PM	20	215	22	170	32	240	24	175	26	155	2	26	170	92
5:00 PM	20	230	20	170	32	200	36	175	18	130	4	22	170	92
6:00 PM	18	220	22	150	30	235	20	155	24	165	8	24	149	81

Nomenclatura

Suc= Succión

Desc= Descarga

EVAPORADORES

CICLO DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE															
GTE01000		GTE02000		GTE03000		GTE04000		MTE01000		MTE02000		MTE03000		DTE01000	
P.sal.	Temp. sal.	P.sal.	Temp. sal.	P.sal.	Temp. sal.	P.sal.	Temp. sal.	P.sal.	Temp. sal.	P.sal.	Temp. sal.	P.sal.	Temp. sal.	P.sal.	Temp. sal.
(Psi)	(° F)	(Psi)	(° F)	(Psi)	(° F)	(Psi)	(° F)	(Psi)	(° F)	(Psi)	(° F)	(Psi)	(° F)	(Psi)	(° F)
24	5	24	5	22	4	25	6	24	5	26	12	27	12	25	12
24	5	22	4	24	5	23	4	24	5	26	12	26	12	26	12
20	-1	20	-1	21	0	19	-1	20	-1	20	6	22	6	22	6
32	12	32	12	32	12	33	11	32	12	30	13	32	13	32	13
28	11	28	11	28	11	29	10	28	11	30	15	30	15	30	16
24	4	24	4	25	6	24	4	24	4	26	12	25	12	26	12
24	4	24	4	24	4	24	4	24	4	20	13	24	13	25	13
26	5	26	5	27	6	25	5	26	5	27	14	28	14	28	14
32	12	32	12	32	12	32	12	32	12	32	15	32	15	32	15
28	11	26	11	26	11	28	11	28	11	22	6	24	7	25	5
40	11	38	10	36	10	39	10	40	11	38	22	27	22	38	22
24	4	22	4	24	5	24	4	24	4	26	12	26	12	24	12

Nomenclatura

P.sal.= Presión a la salida del serpentín de evaporador (válvula reguladora)

Temp.sal. = Temperatura a la salida del serpentín de evaporador (válvula reguladora)

TEMPERATURA DE EVAPORACION MEDIA

CTE01000		CTE02000		CTE05000		CTE015000		CTE06000		CTE08000		CTE018000		HNEN1000	
P.sal.	Temp. sal.	P.sal.	Temp. sal.	P.sal.	Temp. sal.	P.sal.	Temp. sal.	P.sal.	Temp. sal.	P.sal.	Temp. sal.	P.sal.	Temp. sal.	P.sal.	Temp. sal.
(Psi)	(° F)	(Psi)	(° F)	(Psi)	(° F)	(Psi)	(° F)	(Psi)	(° F)	(Psi)	(° F)	(Psi)	(° F)	(Psi)	(° F)
22	12	22	12	23	12	22	12	28	15	28	15	28	15	36	20
36	19	36	19	36	19	36	19	34	18	34	18	34	18	41	21
22	12	22	12	22	12	23	12	28	15	28	15	26	14	38	20
22	12	22	12	22	12	21	11	25	14	25	14	28	15	37	19
22	12	22	12	21	11	22	12	26	14	26	14	24	13	33	17
22	12	22	12	22	12	21	11	29	16	29	16	29	16	31	16
18	10	18	10	18	10	18	10	27	15	28	15	27	15	35	18
18	10	18	10	18	10	17	9	25	14	23	12	25	14	23	12
20	11	20	11	18	10	20	11	31	17	33	18	34	18	13	6
22	12	22	12	22	12	21	11	28	15	28	15	28	15	38	20
21	11	21	11	19	10	21	11	19	10	20	11	19	10	36	19
22	12	22	12	22	12	23	12	29	16	28	15	28	15	38	19

Nomenclatura

P.sal.= Presión a la salida del serpentín de evaporador (válvula reguladora)

Temp.sal. = Temperatura a la salida del serpentín de evaporador (válvula reguladora)

P.ch.= Presión a la salida del refrigerante evaporado (chiller)

Temp.ch.= Temperatura a la salida del refrigerante evaporado (chiller)

TEMPERATURA DE EVAPORACIÓN BAJA									
CTE04000		CTE14000		CTE07000		CTE017000		CNGH1000	
P.sal.	Temp. sal.	P.sal.	Temp. sal.	P.sal.	Temp. sal.	P.sal.	Temp. sal.	P.sal.	Temp. sal.
(Psi)	(° F)	(Psi)	(° F)	(Psi)	(° F)	(Psi)	(° F)	(Psi)	(° F)
15	0	15	0	15	0	15	0	15	0
17	2	17	2	17	2	17	2	17	2
11	-4	12	-3	10	-5	11	-4	11	-4
7	-8	8	-7	7	-8	7	-8	7	-8
7	-8	7	-8	7	-8	8	-7	8	-7
7	-8	7	-8	7	-8	7	-8	8	-7
11	-4	11	-4	11	-4	11	-4	11	-4
7	-8	7	-8	7	-8	7	-8	7	-8
19	4	20	5	20	5	19	4	19	4
7	-8	7	-8	7	-8	7	-8	8	-7
9	-6	9	-6	9	-6	8	-7	9	-6
12	-3	12	-3	12	-3	12	-3	12	-3

Nomenclatura

P.sal.= Presión a la salida del serpentín de evaporador (válvula reguladora)

Temp.sal. = Temperatura a la salida del serpentín de evaporador (válvula reguladora)

P.gh.= Presión a la salida del evaporador de la máquina de hielo

Temp.sgh. = Temperatura a la salida del evaporador de la máquina de hielo (

COMPRESORES Y CONDENSADOR EVAPORATIVO

	Compresor SNCM1000				Compresor SNCM2000				Compresor SNCM3000				Condensador Evaporativo	
	Temperatura (°F)		Presión (Psi)		Temperatura (°F)		Presión (Psi)		Temperatura (°F)		Presión (Psi)		Presión (Psi)	Temperatura (° F)
	Suc	Desc	Suc	Desc	Suc	Desc	Suc	Desc	Suc	Desc	Suc	Desc	(Psi)	(° F)
7:00 AM	22	220	28	165	32	240	20	120	25	150	4	28	164	89
8:00 AM	22	225	20	165	30	245	16	120	22	105	14	24	165	89
9:00 AM	22	220	26	170	30	225	26	125	22	135	8	26	170	92
10:00 AM	20	220	22	160	25	250	22	160	10	105	10	24	159	86
11:00 AM	20	200	22	165	30	240	22	160	20	80	20	24	163	88
12:00 PM	26	250	16	110	28	230	18	165	24	145	2	20	110	60
1:00 PM	17	220	26	180	38	230	28	180	14	90	15	28	180	97
2:00 PM	18	158	32	178	30	230	28	175	15	140	18	32	175	95
3:00 PM	20	220	24	170	46	255	26	175	16	120	10	28	170	92
4:00 PM	20	230	22	110	30	220	28	160	18	150	2	32	109	59
5:00 PM	20	230	22	110	30	220	28	160	18	150	2	32	109	59
6:00 PM	16	210	22	170	30	225	30	175	16	130	8	28	170	92

Nomenclatura

Suc= Succión

Desc= Descarga

CICLO DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE															
GTE01000		GTE02000		GTE03000		GTE04000		MTE01000		MTE02000		MTE03000		DTE01000	
P.sal.	Temp. sal.	P.sal.	Temp. sal.	P.sal.	Temp. sal.	P.sal.	Temp. sal.	P.sal.	Temp. sal.	P.sal.	Temp. sal.	P.sal.	Temp. sal.	P.sal.	Temp. sal.
(Psi)	(° F)	(Psi)	(° F)	(Psi)	(° F)	(Psi)	(° F)	(Psi)	(° F)	(Psi)	(° F)	(Psi)	(° F)	(Psi)	(° F)
24	5	24	5	22	4	24	5	24	5	26	12	26	12	26	12
24	5	23	5	24	5	23	4	24	5	19	0	18	-1	16	5
21	0	20	-1	21	0	20	0	20	-1	28	13	28	13	28	13
32	12	32	12	32	12	33	11	32	12	20	-1	21	0	21	0
28	11	28	11	27	10	29	10	28	11	21	0	21	0	21	8
24	4	25	5	25	6	23	3	24	4	22	7	22	7	22	7
25	5	24	4	24	4	24	4	24	4	29	15	30	15	27	15
26	5	26	5	26	5	25	5	26	5	30	15	29	15	30	15
32	12	32	12	32	12	32	12	32	12	28	14	30	14	30	15
29	12	27	12	26	11	27	10	28	11	29	14	28	14	25	14
40	11	38	10	36	10	39	10	40	11	29	14	28	14	25	14
24	4	22	4	23	4	24	4	24	4	31	16	31	16	31	16

Nomenclatura

P.sal.= Presión a la salida del serpentín de evaporador (válvula reguladora)

Temp.sal. = Temperatura a la salida del serpentín de evaporador (válvula reguladora)

TEMPERATURA DE EVAPORACION MEDIA															
CTE01000		CTE02000		CTE05000		CTE015000		CTE06000		CTE08000		CTE018000		HNEN1000	
P.sal.	Temp. sal.	P.sal.	Temp. sal.	P.sal.	Temp. sal.	P.sal.	Temp. sal.	P.sal.	Temp. sal.	P.sal.	Temp. sal.	P.sal.	Temp. sal.	P.sal.	Temp. sal.
(Psi)	(° F)	(Psi)	(° F)	(Psi)	(° F)	(Psi)	(° F)	(Psi)	(° F)	(Psi)	(° F)	(Psi)	(° F)	(Psi)	(° F)
20	11	20	11	20	11	20	11	32	17	32	17	33	18	39	20
21	11	21	11	21	11	21	11	27	15	27	15	27	15	37	19
21	11	21	11	19	10	22	12	32	17	32	17	32	17	23	12
22	12	22	12	22	12	22	12	28	15	26	14	28	15	38	20
22	12	22	12	21	11	23	12	25	14	27	15	27	15	38	20
27	15	27	15	27	15	27	15	25	14	25	14	25	14	12	6
19	10	19	10	19	10	18	10	23	12	23	12	24	13	32	16
20	11	20	11	20	11	20	11	35	19	35	19	35	19	38	20
22	12	22	12	23	12	22	12	28	15	28	15	26	14	37	19
22	12	22	12	22	12	21	11	27	15	27	15	29	16	38	20
22	12	22	12	22	12	21	11	27	15	27	15	29	16	38	20
22	12	22	12	22	12	22	12	28	15	28	15	24	13	38	20

Nomenclatura

P.sal.= Presión a la salida del serpentín de evaporador (válvula reguladora)

Temp.sal. = Temperatura a la salida del serpentín de evaporador (válvula reguladora)

P.ch.= Presión a la salida del refrigerante evaporado (chiller)

Temp.ch.= Temperatura a la salida del refrigerante evaporado (chiller)

TEMPERATURA DE EVAPORACION BAJA									
CTE04000		CTE14000		CTE07000		CTE017000		CNGH1000	
P.sal.	Temp. sal.	P.sal.	Temp. sal.	P.sal.	Temp. sal.	P.sal.	Temp. sal.	P.sal.	Temp. sal.
(Psi)	(° F)	(Psi)	(° F)	(Psi)	(° F)	(Psi)	(° F)	(Psi)	(° F)
15	0	14	-1	15	0	13	-2	14	-1
18	3	17	2	18	3	16	1	18	3
10	-5	12	-3	12	-3	11	-4	11	-4
7	-8	7	-8	7	-8	8	-7	8	-7
7	-8	7	-8	9	-6	7	-8	7	-8
8	-7	6	-9	7	-8	7	-8	7	-8
11	-4	11	-4	11	-4	12	-3	12	-3
7	-8	7	-8	7	-8	7	-8	7	-8
19	4	19	4	17	2	20	5	19	4
7	-8	8	-7	7	-8	7	-8	8	-7
10	-5	9	-6	9	-6	9	-6	9	-6
12	-3	12	-3	12	-3	12	-3	12	-3

Nomenclatura

P.sal.= Presión a la salida del serpentín de evaporador (válvula reguladora)

Temp.sal. = Temperatura a la salida del serpentín de evaporador (válvula reguladora)

P.gh.= Presión a la salida del evaporador de la máquina de hielo

Temp.sgh. = Temperatura a la salida del evaporador de la máquina de hielo

B4. Resumen del análisis estadístico de la información

CICLO DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE

	Condensadores Evaporativo		Compresor SNCM2000				Evaporadores de aire acondicionado	
	Presión	Temperatura	Presión		Temperatura		Presión	Temperatura
			Succ.	Desc.	Succ.	Desc.		
UNIDADES INGLESAS	157,58 Psi	85,29 ° F	23,75 Psi	162,50 Psi	20.1 ° F	238.6 ° F	26,76 Psi	8,63 ° F
UNIDADES SI	1,086 MPa	29,61 ° C	0,164 Mpa	1,120 Mpa	-6.6 ° C	114.78 ° C	0,185 Mpa	-12,99 ° C

CICLO DE REFRIGERACION DE DOS ETAPAS

	Compresor SNCM1000				Evaporadores a presión media		Compresor SNCM3000				Evaporadores a presión baja	
	Presión		Temperatura		Presión	Temperatura	Presión		Temperatura		Presión	Temperatura
	Succ.	Desc.	Succ.	Desc.			Succ.	Desc.	Succ.	Desc.		
UNIDADES INGLESAS	22,67 Psi	158,29 Psi	19,88 ° F	226,83 ° F	25,56 Psi	13,74 ° F	7,71 Psi	25,67 Psi	20,13 ° F	139.5 ° F	8.28 Psi	-18.2 ° F
UNIDADES SI	0,156 Mpa	1,091 Mpa	-6,74 ° C	108,02 ° C	0,176 Mpa	-10,14 ° C	0,053 Mpa	0,177 Mpa	-6,60 ° C	59,73 ° C	0,0571 Mpa	-27.9 ° C

B5. Especificaciones técnicas de la cámara termográfica

Modelo:	FLIR E60	
Fabricante:	FlirSystems	
Sensibilidad térmica:	< 0.05°C	
Rango de temperatura:	-20°C to +650°C	
Spotmeter:	3	
3 cajas con:	min./max./media	
Medida del:	delta de temperatura	
Construida en:	3.1 Mpixelscámara digital	
Voz / anotaciones de texto		
MeterLink™		
Bluetooth® / WiFi		
1-4x zoom digital continuo		
Scalable IR area en imagen visual		
Fusión térmica		
Video streaming no radiométrico		
Informes instantáneos		

ANEXO C

C1. Layout de la planta

C2. Diagrama de flujo del sistema de refrigeración con amoniaco

C3. Ubicación de los equipos de refrigeración en la planta

C4. Tuberías del sistema de refrigeración con amoniaco

C5. Layout de la planta en el momento de la inspección

C6. Isométrico de la planta en el momento de la inspección

ANEXO D

D1. Fotografías digitales y termográficas de las cámaras refrigeración de la planta de elaborados y embutidos de PRONACA

ANEXO E

E1. Propiedades termodinámicas del refrigerante R-717

E2. Propiedades termodinámicas del refrigerante R-22

E3. Propiedades termodinámicas del refrigerante R-507

E4. Propiedades termodinámicas del líquido subenfriado y vapor sobrecalentado (entalpía) R-717

E5. Propiedades termodinámicas del líquido subenfriado y vapor sobrecalentado (entropía) R-717

E6. Propiedades termodinámicas del líquido subenfriado y vapor sobrecalentado (entalpía) R-22

E7. Propiedades termodinámicas del líquido subenfriado y vapor sobrecalentado (entropía) R-22

E8. Ciclo ideal acondicionamiento de aire

E9. Ciclo ideal de dos etapas (presión media de evaporación)

E10. Ciclo ideal de dos etapas (presión baja de evaporación)

E11. Ciclo ideal unidad condensadora y evaporadores CTE0900 y CTE1900

E12. Ciclo ideal unidad condensadora y evaporador CTE11000

E13. Ciclo ideal unidad condensadora y evaporadores FA-EV033 y FA-EV034

E14. Ciclo ideal unidad condensadora y evaporador HN001000

E15. Ciclo ideal unidad condensadora y evaporador HN002000

E16. Ciclo ideal unidad condensadora y evaporador PNEN1000

E17. Ciclo ideal unidad condensadora y evaporador CTE0A000

E18. Ciclo real acondicionamiento de aire

E19. Ciclo real de dos etapas (presión media de evaporación)

E20. Ciclo real de dos etapas (presión baja de evaporación)

E21. Propiedades termofísicas del aire

E22. Propiedades del agua saturada

E23. Calor específico a presión constante del aire

E24. Memoria de cálculo del flujo de calor por infiltraciones de aire en cámaras frigoríficas

E1. Propiedades termodinámicas del refrigerante R-717

Refrigerant 717 (Ammonia) Properties of Saturated Liquid and Saturated Vapor

Temp., °C	Pressure, MPa	Density, kg/m ³ Liquid	Volume, m ³ /kg Vapor	Enthalpy, kJ/kg		Entropy, kJ/(kg·K)		Specific Heat c _p , kJ/(kg·K)			Velocity of Sound, m/s		Viscosity, (Pa·s)		Thermal Cond., mW/(m·K)		Surface Tension, mN/m	Temp., °C
				Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor		
-77.65a	0.00609	732.9	15.602	-143.15	1341.23	-0.4716	7.1213	4.202	2.063	1.325	2124.	354.1	559.6	6.84	819.0	19.64	62.26	-77.65
-70.00	0.01094	724.7	9.0079	-110.81	1355.55	-0.2094	6.9088	4.245	2.086	1.327	2051.	360.5	475.0	7.03	792.1	19.73	59.10	-70.00
-60.00	0.02189	713.6	4.7057	-68.06	1373.73	-0.1040	6.6602	4.303	2.125	1.330	1967.	368.4	391.3	7.30	757.0	19.93	55.05	-60.00
-50.00	0.04054	702.1	2.6277	-24.73	1391.19	0.0945	6.4396	4.360	2.178	1.335	1890.	375.6	328.9	7.57	722.3	20.24	51.11	-50.00
-40.00	0.07169	690.2	1.5533	19.17	1407.76	0.2867	6.2425	4.414	2.244	1.342	1816.	382.2	281.2	7.86	688.1	20.64	47.26	-40.00
-38.00	0.07971	687.7	1.4068	28.01	1410.96	0.3245	6.2056	4.424	2.259	1.343	1802.	383.4	273.1	7.92	681.4	20.73	46.51	-38.00
-36.00	0.08545	685.3	1.2765	36.88	1414.11	0.3619	6.1694	4.434	2.275	1.345	1787.	384.6	265.3	7.98	674.6	20.83	45.75	-36.00
-34.00	0.09795	682.8	1.1604	45.77	1417.23	0.3992	6.1339	4.444	2.291	1.347	1773.	385.8	257.9	8.03	667.9	20.93	45.00	-34.00
-32.33b	0.10133	682.0	1.1242	48.76	1418.26	0.4117	6.1221	4.448	2.297	1.348	1768.	386.2	255.5	8.03	665.7	20.97	44.75	-32.33
-32.00	0.10826	680.3	1.0567	54.67	1420.29	0.4362	6.0992	4.455	2.308	1.349	1759.	387.0	250.8	8.09	661.3	21.04	44.26	-32.00
-30.00	0.11943	677.8	0.96396	63.60	1423.31	0.4730	6.0651	4.465	2.326	1.351	1744.	388.1	244.1	8.15	654.6	21.15	43.52	-30.00
-28.00	0.13151	675.3	0.88082	72.55	1426.28	0.5096	6.0317	4.474	2.344	1.353	1730.	389.2	237.6	8.21	648.0	21.26	42.78	-28.00
-26.00	0.14457	672.8	0.80514	81.52	1429.21	0.5460	5.9989	4.484	2.363	1.355	1716.	390.2	231.4	8.27	641.5	21.38	42.05	-26.00
-24.00	0.15864	670.3	0.73896	90.51	1432.03	0.5821	5.9667	4.494	2.383	1.358	1702.	391.2	225.5	8.33	634.9	21.51	41.32	-24.00
-22.00	0.17379	667.7	0.67840	99.52	1434.91	0.6180	5.9351	4.504	2.403	1.360	1687.	392.2	219.8	8.39	628.4	21.63	40.60	-22.00
-20.00	0.19008	665.1	0.62373	108.55	1437.68	0.6538	5.9041	4.514	2.425	1.363	1673.	393.2	214.4	8.45	622.0	21.77	39.88	-20.00
-18.00	0.20756	662.6	0.57428	117.60	1440.39	0.6893	5.8736	4.524	2.446	1.365	1659.	394.1	209.2	8.51	615.5	21.90	39.16	-18.00
-16.00	0.22630	660.0	0.52949	126.67	1443.06	0.7246	5.8437	4.534	2.469	1.368	1645.	395.0	204.2	8.57	609.1	22.05	38.45	-16.00
-14.00	0.24637	657.3	0.48885	135.76	1445.66	0.7597	5.8143	4.543	2.493	1.371	1631.	395.8	199.3	8.63	602.8	22.19	37.74	-14.00
-12.00	0.26782	654.7	0.45192	144.88	1448.21	0.7946	5.7853	4.553	2.517	1.375	1616.	396.7	194.7	8.69	596.4	22.35	37.04	-12.00
-10.00	0.29071	652.1	0.41830	154.01	1450.70	0.8293	5.7569	4.564	2.542	1.378	1602.	397.5	190.2	8.75	590.1	22.50	36.34	-10.00
-8.00	0.31513	649.4	0.38767	163.16	1453.14	0.8638	5.7289	4.574	2.568	1.382	1588.	398.2	185.9	8.81	583.9	22.67	35.65	-8.00
-6.00	0.34114	646.7	0.35970	172.34	1455.51	0.8981	5.7013	4.584	2.594	1.385	1574.	398.9	181.7	8.87	577.7	22.83	34.96	-6.00
-4.00	0.36880	644.0	0.33414	181.54	1457.81	0.9323	5.6741	4.595	2.622	1.389	1559.	399.6	177.7	8.93	571.5	23.00	34.27	-4.00
-2.00	0.39819	641.3	0.31074	190.76	1460.06	0.9662	5.6474	4.606	2.651	1.393	1545.	400.2	173.8	8.99	565.3	23.18	33.59	-2.00
0.00	0.42938	638.6	0.28930	200.00	1462.24	1.0000	5.6210	4.617	2.680	1.398	1531.	400.8	170.1	9.06	559.2	23.37	32.91	0.00
2.00	0.46246	635.8	0.26962	209.27	1464.35	1.0336	5.5951	4.628	2.710	1.402	1516.	401.4	166.5	9.12	553.1	23.55	32.24	2.00
4.00	0.49748	633.1	0.25153	218.55	1466.40	1.0670	5.5695	4.639	2.742	1.407	1502.	401.9	162.9	9.18	547.1	23.75	31.57	4.00
6.00	0.53453	630.3	0.23489	227.87	1468.37	1.1003	5.5442	4.651	2.774	1.412	1487.	402.4	159.5	9.24	541.1	23.95	30.91	6.00
8.00	0.57370	627.5	0.21956	237.20	1470.28	1.1334	5.5192	4.663	2.807	1.417	1473.	402.8	156.2	9.30	535.1	24.15	30.24	8.00
10.00	0.61505	624.6	0.20543	246.57	1472.11	1.1664	5.4946	4.676	2.841	1.422	1458.	403.2	153.0	9.36	529.1	24.37	29.59	10.00
12.00	0.65866	621.8	0.19237	255.95	1473.88	1.1992	5.4703	4.689	2.877	1.428	1443.	403.6	149.9	9.43	523.2	24.58	28.94	12.00
14.00	0.70463	618.9	0.18031	265.37	1475.56	1.2318	5.4463	4.702	2.913	1.434	1429.	403.9	146.9	9.49	517.3	24.81	28.29	14.00
16.00	0.75303	616.0	0.16914	274.81	1477.17	1.2643	5.4226	4.716	2.951	1.440	1414.	404.2	144.0	9.55	511.5	25.04	27.65	16.00
18.00	0.80395	613.1	0.15879	284.28	1478.70	1.2967	5.3991	4.730	2.990	1.446	1399.	404.4	141.1	9.61	505.6	25.27	27.01	18.00
20.00	0.85748	610.2	0.14920	293.78	1480.16	1.3289	5.3759	4.745	3.030	1.453	1384.	404.6	138.3	9.68	499.9	25.52	26.38	20.00
22.00	0.91369	607.2	0.14029	303.31	1481.53	1.3610	5.3529	4.760	3.071	1.460	1370.	404.8	135.6	9.74	494.1	25.77	25.75	22.00
24.00	0.97268	604.3	0.13201	312.87	1482.82	1.3929	5.3301	4.776	3.113	1.468	1355.	404.9	133.0	9.80	488.4	26.03	25.12	24.00
26.00	1.0345	601.3	0.12431	322.47	1484.02	1.4248	5.3076	4.793	3.158	1.475	1340.	404.9	130.4	9.87	482.7	26.29	24.50	26.00
28.00	1.0993	598.2	0.11714	332.09	1485.14	1.4565	5.2853	4.810	3.203	1.484	1324.	405.0	127.9	9.93	477.0	26.57	23.89	28.00
30.00	1.1672	595.2	0.11046	341.76	1486.17	1.4881	5.2631	4.828	3.250	1.492	1309.	404.9	125.5	10.00	471.4	26.85	23.28	30.00
32.00	1.2382	592.1	0.10422	351.45	1487.11	1.5196	5.2412	4.847	3.299	1.501	1294.	404.8	123.1	10.06	465.7	27.14	22.67	32.00
34.00	1.3124	589.0	0.09840	361.19	1487.95	1.5509	5.2194	4.867	3.349	1.510	1279.	404.7	120.7	10.13	460.1	27.43	22.07	34.00
36.00	1.3900	585.8	0.09296	370.96	1488.70	1.5822	5.1978	4.888	3.401	1.520	1263.	404.5	118.4	10.19	454.6	27.74	21.47	36.00
38.00	1.4709	582.6	0.08787	380.78	1489.36	1.6134	5.1763	4.909	3.455	1.530	1248.	404.3	116.2	10.26	449.1	28.05	20.88	38.00
40.00	1.5554	579.4	0.08310	390.64	1489.91	1.6446	5.1549	4.932	3.510	1.541	1232.	404.0	114.0	10.33	443.5	28.38	20.29	40.00
42.00	1.6435	576.2	0.07863	400.54	1490.36	1.6756	5.1337	4.956	3.568	1.553	1216.	403.7	111.9	10.39	438.0	28.71	19.71	42.00
44.00	1.7353	572.9	0.07445	410.48	1490.70	1.7065	5.1126	4.981	3.628	1.565	1201.	403.3	109.8	10.46	432.6	29.06	19.13	44.00
46.00	1.8310	569.6	0.07052	420.48	1490.94	1.7374	5.0915	5.007	3.691	1.577	1185.	402.9	107.8	10.53	427.1	29.41	18.56	46.00
48.00	1.9305	566.3	0.06682	430.52	1491.06	1.7683	5.0706	5.034	3.756	1.591	1169.	402.4	105.8	10.60	421.7	29.78	17.99	48.00
50.00	2.0340	562.9	0.06335	440.62	1491.07	1.7990	5.0497	5.064	3.823	1.605	1153.	401.9	103.8	10.67	416.3	30.16	17.43	50.00
55.00	2.3111	554.2	0.05554	466.10	1490.57	1.8758	4.9977	5.143	4.005	1.643	1112.	400.3	99.0	10.86	402.9	31.16	16.04	55.00
60.00	2.6156	545.2	0.04880	491.97	1489.27	1.9523	4.9458	5.235	4.208	1.687	1070.	398.3	94.5	11.05	389.6	32.26	14.69	60.00
65.00	2.9491	536.0	0.04296	518.26	1487.09	2.0288	4.8939	5.341	4.438	1.739	1028.	396.0	90.1	11.25	376.4	33.47	13.37	65.00
70.00	3.3135	526.3	0.03787	545.04	1483.94	2.1054	4.8415	5.465	4.699	1.799	984.	393.3	85.9	11.47	363.2	34.80	12.08	70.00
75.00	3.7105	516.2	0.03342	572.37	1479.72	2.1823	4.7885	5.610	5.001	1.870	940.	390.1	81.9	11.70	350.2	36.30	10.83	75.00
80.00	4.1420	505.7	0.02951	600.34	1474.31	2.2596	4.7344	5.784	5.355	1.955	895.	386.5	78.0	11.95	337.1	38.00	9.61	80.00
85.00	4.6100	494.5	0.02606	629.04	1467.53	2.3377	4.6789	5.993	5.777	2.058	848.	382.5	74.2	12.23	324.1	39.95	8.44	85.00
90.00	5.1167	482.8	0.02300	658.61	1459.19	2.4168	4.6213	6.250	6.291	2.187	800.	377.9	70.5	12.55	311.0	42.24	7.30	90.00
95.00	5.6643	470.2	0.02027															

E2. Propiedades termodinámicas del refrigerante R-22

Refrigerant 22 (Chlorodifluoromethane) Properties of Saturated Liquid and Saturated Vapor

Temp., °C	Pres- sure, MPa	Density, kg/m ³ Liquid	Volume, m ³ /kg Vapor	Enthalpy, kJ/kg		Entropy, kJ/(kg·K)		Specific Heat c _p , kJ/(kg·K)			Velocity of Sound, m/s		Viscosity, μPa·s		Thermal Cond., mW/(m·K)		Surface Tension, mN/m	Temp., °C
				Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor		
-100.00	0.00201	1571.3	8.2660	90.71	358.97	0.5050	2.0543	1.061	0.497	1.243	1127	143.6	845.8	7.25	143.1	4.46	28.12	-100.00
-90.00	0.00481	1544.9	3.6448	101.32	363.85	0.5646	1.9980	1.061	0.512	1.237	1080	147.0	699.4	7.67	137.8	4.84	26.36	-90.00
-80.00	0.01037	1518.2	1.7782	111.94	368.77	0.6210	1.9508	1.062	0.528	1.233	1033	150.3	591.0	8.09	132.6	5.25	24.63	-80.00
-70.00	0.02047	1491.2	0.94342	122.58	373.70	0.6747	1.9108	1.065	0.545	1.231	986	153.3	507.6	8.52	127.6	5.68	22.92	-70.00
-60.00	0.03750	1463.7	0.52680	133.27	378.59	0.7260	1.8770	1.071	0.564	1.230	940	156.0	441.4	8.94	122.6	6.12	21.24	-60.00
-50.00	0.06453	1435.6	0.32385	144.02	383.42	0.7752	1.8480	1.079	0.585	1.232	893	158.3	387.5	9.36	117.8	6.59	19.58	-50.00
-48.00	0.07145	1429.9	0.29453	146.19	384.37	0.7849	1.8428	1.081	0.589	1.233	884	158.7	377.8	9.45	116.9	6.69	19.25	-48.00
-46.00	0.07894	1424.2	0.26837	148.26	385.32	0.7944	1.8376	1.083	0.594	1.234	875	159.1	368.6	9.53	115.9	6.79	18.92	-46.00
-44.00	0.08705	1418.4	0.24498	150.53	386.26	0.8029	1.8327	1.086	0.599	1.235	865	159.5	359.6	9.62	115.0	6.89	18.59	-44.00
-42.00	0.09580	1412.6	0.22402	152.70	387.20	0.8134	1.8278	1.088	0.603	1.236	856	159.9	351.0	9.70	114.0	6.99	18.27	-42.00
-40.81b	0.10132	1409.2	0.21260	154.00	387.75	0.8189	1.8250	1.090	0.606	1.236	851	160.1	346.0	9.75	113.5	7.05	18.05	-40.81
-40.00	0.10523	1406.8	0.20521	154.89	388.13	0.8227	1.8231	1.091	0.608	1.237	847	160.3	342.6	9.79	113.1	7.09	17.94	-40.00
-38.00	0.11538	1401.0	0.18829	157.07	389.06	0.8320	1.8186	1.093	0.613	1.238	838	160.6	334.5	9.87	112.2	7.19	17.62	-38.00
-36.00	0.12628	1395.1	0.17304	159.27	389.97	0.8413	1.8141	1.096	0.619	1.239	828	160.9	326.7	9.96	111.2	7.29	17.30	-36.00
-34.00	0.13797	1389.1	0.15927	161.47	390.89	0.8505	1.8098	1.099	0.624	1.241	819	161.2	319.1	10.04	110.3	7.40	16.98	-34.00
-32.00	0.15050	1383.2	0.14682	163.67	391.79	0.8596	1.8056	1.102	0.629	1.242	810	161.5	311.7	10.12	109.4	7.51	16.66	-32.00
-30.00	0.16389	1377.2	0.13553	165.88	392.69	0.8687	1.8015	1.105	0.635	1.244	800	161.8	304.6	10.21	108.5	7.61	16.34	-30.00
-28.00	0.17819	1371.1	0.12528	168.10	393.58	0.8778	1.7975	1.108	0.641	1.246	791	162.0	297.7	10.29	107.5	7.72	16.02	-28.00
-26.00	0.19344	1365.0	0.11597	170.33	394.47	0.8868	1.7937	1.112	0.646	1.248	782	162.3	291.0	10.38	106.6	7.83	15.70	-26.00
-24.00	0.20968	1358.9	0.10749	172.56	395.34	0.8957	1.7899	1.115	0.653	1.250	772	162.5	284.4	10.46	105.7	7.94	15.39	-24.00
-22.00	0.22696	1352.7	0.09975	174.80	396.21	0.9046	1.7862	1.119	0.659	1.253	763	162.7	278.1	10.55	104.8	8.06	15.07	-22.00
-20.00	0.24531	1346.5	0.09268	177.04	397.06	0.9135	1.7826	1.123	0.665	1.255	754	162.8	271.9	10.63	103.9	8.17	14.76	-20.00
-18.00	0.26479	1340.3	0.08621	179.30	397.91	0.9223	1.7791	1.127	0.672	1.258	744	163.0	265.9	10.72	103.0	8.29	14.45	-18.00
-16.00	0.28542	1334.0	0.08029	181.56	398.75	0.9311	1.7757	1.131	0.678	1.261	735	163.1	260.1	10.80	102.1	8.40	14.14	-16.00
-14.00	0.30728	1327.6	0.07485	183.83	399.57	0.9398	1.7723	1.135	0.685	1.264	726	163.2	254.4	10.89	101.1	8.52	13.83	-14.00
-12.00	0.33038	1321.2	0.06986	186.11	400.39	0.9485	1.7690	1.139	0.692	1.267	716	163.3	248.8	10.98	100.2	8.65	13.52	-12.00
-10.00	0.35479	1314.7	0.06527	188.40	401.20	0.9572	1.7658	1.144	0.699	1.270	707	163.3	243.4	11.06	99.3	8.77	13.21	-10.00
-8.00	0.38054	1308.2	0.06103	190.70	401.99	0.9658	1.7627	1.149	0.707	1.274	697	163.4	238.1	11.15	98.4	8.89	12.91	-8.00
-6.00	0.40769	1301.6	0.05713	193.01	402.77	0.9744	1.7596	1.154	0.715	1.278	688	163.4	233.0	11.24	97.5	9.02	12.60	-6.00
-4.00	0.43628	1295.0	0.05352	195.33	403.55	0.9830	1.7566	1.159	0.722	1.282	679	163.4	227.9	11.32	96.6	9.15	12.30	-4.00
-2.00	0.46626	1288.3	0.05019	197.66	404.30	0.9915	1.7536	1.164	0.731	1.287	669	163.4	223.0	11.41	95.7	9.28	12.00	-2.00
0.00	0.49799	1281.5	0.04710	200.00	405.05	1.0000	1.7507	1.169	0.739	1.291	660	163.3	218.2	11.50	94.8	9.42	11.70	0.00
2.00	0.53120	1274.7	0.04424	202.35	405.78	1.0085	1.7478	1.175	0.748	1.296	650	163.2	213.5	11.59	93.9	9.56	11.40	2.00
4.00	0.56605	1267.8	0.04159	204.71	406.50	1.0169	1.7450	1.181	0.757	1.301	641	163.1	208.9	11.68	93.1	9.70	11.10	4.00
6.00	0.60259	1260.8	0.03913	207.09	407.20	1.0254	1.7422	1.187	0.766	1.307	632	163.0	204.4	11.77	92.2	9.84	10.81	6.00
8.00	0.64088	1253.8	0.03683	209.47	407.89	1.0338	1.7395	1.193	0.775	1.313	622	162.8	200.0	11.86	91.3	9.99	10.51	8.00
10.00	0.68095	1246.7	0.03470	211.87	408.56	1.0422	1.7368	1.199	0.785	1.319	613	162.6	195.7	11.96	90.4	10.14	10.22	10.00
12.00	0.72286	1239.5	0.03271	214.28	409.21	1.0505	1.7341	1.206	0.795	1.326	603	162.4	191.5	12.05	89.5	10.29	9.93	12.00
14.00	0.76668	1232.2	0.03086	216.70	409.85	1.0589	1.7315	1.213	0.806	1.333	594	162.2	187.3	12.14	88.6	10.45	9.64	14.00
16.00	0.81244	1224.9	0.02912	219.14	410.47	1.0672	1.7289	1.220	0.817	1.340	584	161.9	183.2	12.24	87.7	10.61	9.35	16.00
18.00	0.86020	1217.4	0.02750	221.59	411.07	1.0755	1.7263	1.228	0.828	1.348	575	161.6	179.2	12.33	86.8	10.77	9.06	18.00
20.00	0.91002	1209.9	0.02599	224.06	411.66	1.0838	1.7238	1.236	0.840	1.357	565	161.3	175.3	12.43	85.9	10.95	8.78	20.00
22.00	0.96195	1202.3	0.02457	226.54	412.22	1.0921	1.7212	1.244	0.853	1.366	555	161.0	171.5	12.53	85.0	11.12	8.50	22.00
24.00	1.0160	1194.6	0.02324	229.04	412.77	1.1004	1.7187	1.252	0.866	1.375	546	160.6	167.7	12.63	84.1	11.30	8.22	24.00
26.00	1.0724	1186.7	0.02199	231.55	413.29	1.1086	1.7162	1.261	0.879	1.385	536	160.2	163.9	12.74	83.2	11.49	7.94	26.00
28.00	1.1309	1178.8	0.02082	234.08	413.79	1.1169	1.7136	1.271	0.893	1.396	527	159.7	160.3	12.84	82.3	11.69	7.66	28.00
30.00	1.1919	1170.7	0.01972	236.62	414.26	1.1252	1.7111	1.281	0.908	1.408	517	159.2	156.7	12.95	81.4	11.89	7.38	30.00
32.00	1.2552	1162.6	0.01869	239.19	414.71	1.1334	1.7086	1.291	0.924	1.420	507	158.7	153.1	13.06	80.5	12.10	7.11	32.00
34.00	1.3210	1154.3	0.01771	241.77	415.14	1.1417	1.7061	1.302	0.940	1.434	497	158.2	149.6	13.17	79.6	12.31	6.84	34.00
36.00	1.3892	1145.8	0.01679	244.38	415.54	1.1499	1.7036	1.314	0.957	1.448	487	157.6	146.1	13.28	78.7	12.54	6.57	36.00
38.00	1.4601	1137.3	0.01593	247.00	415.91	1.1582	1.7010	1.326	0.976	1.463	478	157.0	142.7	13.40	77.8	12.77	6.30	38.00
40.00	1.5336	1128.5	0.01511	249.65	416.25	1.1665	1.6985	1.339	0.995	1.480	468	156.4	139.4	13.52	76.9	13.02	6.04	40.00
42.00	1.6098	1119.6	0.01433	252.32	416.55	1.1747	1.6959	1.353	1.015	1.498	458	155.7	136.1	13.64	76.0	13.28	5.77	42.00
44.00	1.6887	1110.6	0.01360	255.01	416.83	1.1830	1.6933	1.368	1.037	1.517	448	155.0	132.8	13.77	75.1	13.55	5.51	44.00
46.00	1.7704	1101.4	0.01291	257.73	417.07	1.1913	1.6906	1.384	1.061	1.538	437	154.2	129.5	13.90	74.1	13.83	5.25	46.00
48.00	1.8551	1091.9	0.01226	260.47	417.27	1.1997	1.6879	1.401	1.086	1.561	427	153.4	126.3	14.04	73.2	14.13	5.00	48.00
50.00	1.9427	1082.3	0.01163	263.25	417.44	1.2080	1.6852	1.419	1.113	1.586	417	152.6	123.1	14.18	72.3	14.45	4.74	50.00
52.00	2.0333	1072.4	0.01104	266.05	417.56	1.2164	1.6824	1.439	1.142	1.614	407	151.7	120.0	14.32	71.4	14.78	4.49	52.00
54.00	2.1270	1062.3	0.01048	268.89	417.63	1.2248	1.6795	1.461	1.173	1.644	396	150.8	116.9	14.47	70.4	15.14	4.24	54.00
56.00	2.2239	1052.0	0.00995	271.76	417.66	1.2333	1.6766											

E3. Propiedades termodinámicas del refrigerante R-507

Refrigerant 507A [R-125/143a (50/50)] Properties of Saturated Liquid and Saturated Vapor

Temp., °C	Pres- sure** MPa	Density, kg/m ³ Liquid	Volume, m ³ /kg Vapor	Enthalpy, kJ/kg		Entropy, kJ/(kg·K)		Specific Heat c _p , kJ/(kg·K)			Velocity of Sound, m/s		Viscosity, μPa·s		Thermal Cond., mW/(m·K)		Surface Tension, mN/m	Temp., °C
				Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor		
-100.00	0.00910	1471.4	4.6772	77.43	303.23	0.4473	1.7515	1.134	0.617	1.164	984	129.6	858.0	7.03	125.6	5.62	18.29	-100.00
-95.00	0.00479	1457.5	3.1090	83.11	306.19	0.4796	1.7319	1.137	0.630	1.162	957	131.2	759.3	7.23	122.6	5.90	17.82	-95.00
-90.00	0.00720	1443.4	2.1231	88.81	309.17	0.5112	1.7144	1.142	0.643	1.161	930	132.6	678.9	7.43	119.7	6.18	17.35	-90.00
-85.00	0.01055	1429.3	1.4336	94.54	312.18	0.5420	1.6988	1.148	0.657	1.159	904	134.1	612.1	7.63	116.9	6.47	16.87	-85.00
-80.00	0.01509	1415.1	1.0628	100.29	315.20	0.5722	1.6849	1.155	0.671	1.158	878	135.4	555.7	7.83	114.1	6.77	16.37	-80.00
-75.00	0.02113	1400.8	0.77578	106.09	318.24	0.6018	1.6725	1.162	0.686	1.158	853	136.6	507.4	8.02	111.4	7.07	15.87	-75.00
-70.00	0.02903	1386.4	0.57673	111.93	321.29	0.6309	1.6614	1.171	0.702	1.158	828	137.8	465.5	8.22	108.8	7.39	15.35	-70.00
-65.00	0.03916	1371.8	0.43596	117.81	324.33	0.6594	1.6516	1.180	0.718	1.159	804	138.9	428.8	8.42	106.2	7.71	14.83	-65.00
-60.00	0.05198	1357.0	0.33438	123.74	327.38	0.6875	1.6429	1.190	0.734	1.160	780	139.8	396.3	8.62	103.7	8.03	14.29	-60.00
-55.00	0.06795	1342.1	0.26036	129.72	330.42	0.7152	1.6352	1.200	0.752	1.162	755	140.7	367.4	8.84	101.2	8.38	13.75	-55.00
-50.00	0.08739	1326.9	0.20517	135.75	333.44	0.7425	1.6284	1.211	0.770	1.164	731	141.4	341.5	9.04	98.8	8.73	13.20	-50.00
-48.00	0.09661	1320.8	0.18713	138.18	334.64	0.7533	1.6259	1.216	0.778	1.165	722	141.6	331.8	9.11	97.9	8.87	12.98	-48.00
-47.01b	0.10132	1317.7	0.17894	139.39	335.24	0.7586	1.6247	1.218	0.782	1.166	717	141.8	327.2	9.15	97.4	8.94	12.87	-47.01
-46.00	0.10624	1314.6	0.17099	140.62	335.85	0.7641	1.6235	1.221	0.786	1.167	712	141.9	322.5	9.19	97.0	9.01	12.75	-46.00
-44.00	0.11682	1308.4	0.15650	142.07	337.04	0.7748	1.6212	1.226	0.793	1.168	703	142.1	313.6	9.26	96.0	9.16	12.53	-44.00
-42.00	0.12809	1302.1	0.14348	143.53	338.23	0.7854	1.6191	1.231	0.801	1.170	693	142.3	305.0	9.34	95.1	9.30	12.30	-42.00
-40.00	0.14020	1295.8	0.13173	145.00	339.42	0.7960	1.6170	1.236	0.810	1.171	684	142.4	296.7	9.41	94.2	9.43	12.08	-40.00
-38.00	0.15318	1289.5	0.12116	150.49	340.60	0.8066	1.6151	1.241	0.818	1.173	674	142.6	288.8	9.49	93.2	9.60	11.85	-38.00
-36.00	0.16708	1283.1	0.11139	152.98	341.78	0.8171	1.6132	1.246	0.827	1.175	665	142.7	281.0	9.57	92.3	9.75	11.62	-36.00
-34.00	0.18194	1276.6	0.10292	155.48	342.95	0.8275	1.6115	1.252	0.835	1.177	655	142.8	273.6	9.64	91.4	9.90	11.39	-34.00
-32.00	0.19780	1270.1	0.09505	157.99	344.11	0.8380	1.6098	1.258	0.844	1.180	646	142.9	266.4	9.72	90.5	10.06	11.15	-32.00
-30.00	0.21471	1263.6	0.08791	160.52	345.27	0.8483	1.6082	1.263	0.853	1.182	637	142.9	259.4	9.80	89.6	10.21	10.92	-30.00
-28.00	0.23271	1257.0	0.08140	163.06	346.42	0.8587	1.6067	1.269	0.862	1.185	627	142.9	252.7	9.88	88.7	10.37	10.69	-28.00
-26.00	0.25185	1250.3	0.07546	165.61	347.57	0.8690	1.6052	1.275	0.872	1.188	618	142.9	246.1	9.96	87.8	10.53	10.45	-26.00
-24.00	0.27218	1243.6	0.07004	168.17	348.70	0.8792	1.6038	1.281	0.882	1.191	608	142.9	239.8	10.05	87.0	10.69	10.22	-24.00
-22.00	0.29374	1236.8	0.06508	170.74	349.82	0.8894	1.6025	1.288	0.891	1.194	599	142.8	233.6	10.01	86.1	10.99	9.98	-22.00
-20.00	0.31658	1229.9	0.06054	173.33	350.94	0.8996	1.6012	1.294	0.902	1.197	589	142.8	227.6	10.11	85.2	11.16	9.74	-20.00
-18.00	0.34076	1223.0	0.05638	175.93	352.05	0.9098	1.6001	1.301	0.912	1.201	580	142.6	221.8	10.20	84.3	11.33	9.51	-18.00
-16.00	0.36631	1216.0	0.05255	178.55	353.14	0.9199	1.5989	1.308	0.923	1.205	570	142.5	216.2	10.29	83.5	11.50	9.27	-16.00
-14.00	0.39329	1208.9	0.04903	181.18	354.23	0.9300	1.5978	1.315	0.933	1.209	561	142.3	210.7	10.39	82.6	11.68	9.03	-14.00
-12.00	0.42176	1201.8	0.04579	183.82	355.30	0.9401	1.5968	1.323	0.945	1.213	552	142.1	205.3	10.48	81.8	11.86	8.79	-12.00
-10.00	0.45176	1194.5	0.04279	186.48	356.37	0.9501	1.5957	1.330	0.956	1.218	542	141.9	200.1	10.58	80.9	12.04	8.55	-10.00
-8.00	0.48335	1187.2	0.04003	189.15	357.41	0.9601	1.5948	1.338	0.968	1.223	533	141.6	195.0	10.67	80.0	12.23	8.31	-8.00
-6.00	0.51658	1179.8	0.03748	191.84	358.45	0.9701	1.5938	1.346	0.980	1.228	523	141.3	190.1	10.77	79.2	12.42	8.07	-6.00
-4.00	0.55150	1172.3	0.03511	194.54	359.47	0.9801	1.5929	1.355	0.993	1.234	514	141.0	185.2	10.87	78.3	12.61	7.83	-4.00
-2.00	0.58817	1164.6	0.03292	197.26	360.48	0.9901	1.5920	1.363	1.006	1.240	504	140.6	180.5	10.97	77.5	12.81	7.59	-2.00
0.00	0.62665	1156.9	0.03089	200.00	361.47	1.0000	1.5912	1.372	1.019	1.247	494	140.2	175.9	11.07	76.7	13.02	7.35	0.00
2.00	0.66698	1149.1	0.02900	202.76	362.44	1.0099	1.5903	1.382	1.033	1.254	485	139.8	171.4	11.17	75.8	13.23	7.11	2.00
4.00	0.70924	1141.1	0.02724	205.53	363.40	1.0198	1.5895	1.392	1.048	1.261	475	139.3	167.0	11.28	75.0	13.45	6.87	4.00
6.00	0.75347	1133.1	0.02560	208.32	364.35	1.0297	1.5886	1.402	1.063	1.269	465	138.8	162.6	11.38	74.1	13.67	6.63	6.00
8.00	0.79973	1124.9	0.02408	211.13	365.25	1.0396	1.5878	1.413	1.079	1.278	456	138.2	158.4	11.49	73.3	13.90	6.39	8.00
10.00	0.84809	1116.6	0.02265	213.97	366.15	1.0495	1.5870	1.424	1.096	1.287	446	137.6	154.3	11.60	72.5	14.14	6.15	10.00
12.00	0.89860	1108.1	0.02132	216.82	367.02	1.0594	1.5862	1.436	1.113	1.297	436	137.0	150.2	11.71	71.6	14.39	5.91	12.00
14.00	0.95133	1099.4	0.02008	219.69	367.87	1.0693	1.5853	1.448	1.131	1.307	426	136.3	146.2	11.83	70.8	14.65	5.67	14.00
16.00	1.00630	1090.7	0.01892	222.59	368.70	1.0792	1.5845	1.461	1.151	1.319	416	135.6	142.3	11.94	70.0	14.91	5.43	16.00
18.00	1.06370	1081.7	0.01783	225.52	369.49	1.0890	1.5836	1.475	1.171	1.332	407	134.9	138.5	12.06	69.1	15.19	5.19	18.00
20.00	1.12350	1072.6	0.01680	228.46	370.26	1.0989	1.5827	1.490	1.193	1.346	397	134.1	134.7	12.19	68.3	15.49	4.95	20.00
22.00	1.18570	1063.2	0.01584	231.44	371.00	1.1089	1.5817	1.506	1.216	1.360	386	133.2	131.0	12.32	67.5	15.80	4.72	22.00
24.00	1.25050	1053.7	0.01494	234.44	371.71	1.1188	1.5808	1.522	1.241	1.377	376	132.3	127.3	12.45	66.7	16.12	4.48	24.00
26.00	1.31790	1043.9	0.01409	237.47	372.38	1.1287	1.5797	1.540	1.267	1.395	366	131.4	123.7	12.59	65.8	16.46	4.23	26.00
28.00	1.38800	1033.9	0.01329	240.53	373.01	1.1387	1.5787	1.560	1.296	1.415	356	130.4	120.1	12.73	65.0	16.83	4.02	28.00
30.00	1.46080	1023.6	0.01253	243.62	373.60	1.1487	1.5775	1.581	1.327	1.437	346	129.3	116.6	12.88	64.2	17.22	3.79	30.00
32.00	1.53650	1013.0	0.01182	246.75	374.15	1.1587	1.5763	1.603	1.361	1.461	335	128.2	113.2	13.03	63.3	17.63	3.56	32.00
34.00	1.61510	1002.2	0.01115	249.91	374.65	1.1688	1.5750	1.628	1.398	1.488	325	127.1	109.7	13.19	62.5	18.07	3.33	34.00
36.00	1.69670	991.0	0.01051	253.12	375.10	1.1790	1.5735	1.655	1.439	1.518	314	125.9	106.3	13.36	61.6	18.55	3.11	36.00
38.00	1.78140	979.4	0.00991	256.37	375.49	1.1892	1.5720	1.685	1.485	1.553	303	124.6	103.0	13.54	60.8	19.07	2.89	38.00
40.00	1.86920	967.5	0.00933	259.66	375.81	1.1994	1.5704	1.719	1.536	1.592	292	123.2	99.6	13.73	60.0	19.63	2.67	40.00
42.00	1.96050	955.0	0.00879	263.01	376.07	1.2098	1.5686	1.757	1.594	1.637	281	121.8	96.3	13.93	59.1	20.24	2.45	42.00
44.00	2.05470	942.1	0.00827	266.41	376.25	1.2202	1.5666	1.799	1.660	1.689	270	120.4	93.0	14.15	58.2	20.92	2.24	44.00
46.00	2.15260	928.7	0.00778	269.87	376.35	1.2308	1.5644	1.848	1.737	1.								

E4. Propiedades termodinámicas del líquido subenfriado y vapor sobrecalentado (entalpía) R-71

t_{sat} (°C)	P (kPa)	t (°C)															
		-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
70	3312.0	-21.8	21.9	66.2	110.9	156.2	201.9	248.1	294.9	342.5	391.0	440.6	491.8		1527.4	1565.6	1600.6
65	2947.8	-22.1	21.6	65.9	110.7	155.9	201.6	247.9	294.8	342.4	390.9	440.6	491.9	1508.5	1547.2	1582.3	1615.1
60	2614.5	-22.4	21.3	65.6	110.4	155.7	201.4	247.7	294.6	342.3	390.8	440.6		1528.7	1564.1	1596.8	1627.8
55	2310.3	-22.7	21.1	65.4	110.2	155.4	201.2	247.5	294.5	342.2	390.8	440.6	1510.0	1545.7	1578.5	1609.5	1639.0
50	2033.5	-22.9	20.8	65.2	110.0	155.2	201.0	247.4	294.3	342.1	390.7		1527.2	1560.2	1591.1	1620.5	1648.9
45	1782.3	-23.2	20.6	65.0	109.8	155.1	200.9	247.2	294.2	342.0	390.7	1508.7	1541.8	1572.7	1602.0	1630.2	1657.6
40	1555.3	-23.4	20.4	64.8	109.6	154.9	200.7	247.1	294.1	341.9		1523.4	1554.3	1583.5	1611.6	1638.7	1665.3
35	1350.8	-23.6	20.3	64.6	109.4	154.8	200.6	247.0	294.0	341.8	1504.8	1535.8	1565.0	1592.9	1619.9	1646.2	1672.1
30	1167.4	-23.7	20.1	64.5	109.3	154.6	200.5	246.9	293.9		1517.3	1546.5	1574.3	1601.1	1627.2	1652.8	1678.1
25	1003.5	-23.9	20.0	64.3	109.2	154.5	200.4	246.8	293.9	1498.8	1528.0	1555.6	1582.3	1608.2	1633.6	1658.6	1683.3
20	857.8	-24.0	19.8	64.2	109.1	154.4	200.3	246.7		1509.4	1537.0	1563.5	1589.2	1614.4	1639.1	1663.6	1688.0
15	728.8	-24.1	19.7	64.1	109.0	154.3	200.2	246.6	1490.8	1518.3	1544.7	1570.2	1595.2	1619.7	1644.0	1668.0	1692.0
10	615.3	-24.2	19.6	64.0	108.9	154.2	200.1		1499.7	1525.9	1551.3	1576.0	1600.3	1624.4	1648.2	1671.9	1695.5
5	516.0	-24.3	19.5	63.9	108.8	154.2	200.1	1481.0	1507.2	1532.4	1556.9	1581.0	1604.8	1628.4	1651.8	1675.2	1698.6
0	429.6	-24.4	19.5	63.9	108.7	154.1		1488.4	1513.5	1537.8	1561.7	1585.3	1608.6	1631.8	1654.9	1678.1	1701.2
-5	354.9	-24.4	19.4	63.8	108.7	154.1	1469.5	1494.5	1518.7	1542.4	1565.8	1588.9	1611.9	1634.8	1657.6	1680.5	1703.5
-10	290.8	-24.5	19.4	63.7	108.6		1475.6	1499.7	1523.2	1546.3	1569.2	1592.0	1614.6	1637.3	1659.9	1682.6	1705.4
-15	236.2	-24.6	19.3	63.7	108.6	1456.7	1480.6	1503.9	1526.9	1549.6	1572.1	1594.5	1617.0	1639.4	1661.9	1684.4	1707.0
-20	190.1	-24.6	19.3	63.7		1461.5	1484.7	1507.5	1530.0	1552.3	1574.5	1596.7	1618.9	1641.2	1663.5	1685.9	1708.4
-25	151.5	-24.6	19.2	63.6	1442.4	1465.5	1488.1	1510.4	1532.5	1554.6	1576.5	1598.5	1620.5	1642.6	1664.8	1687.1	1709.6
-30	119.4	-24.7	19.2		1446.3	1468.7	1490.9	1512.8	1534.6	1556.4	1578.2	1600.0	1621.9	1643.9	1666.0	1688.2	1710.5
-35	93.1	-24.7	19.2	1427.0	1449.3	1471.3	1493.1	1514.7	1536.3	1557.9	1579.5	1601.2	1623.0	1644.9	1666.9	1689.0	1711.3
-40	71.7	-24.7		1430.0	1451.8	1473.4	1494.9	1516.3	1537.7	1559.1	1580.6	1602.2	1623.9	1645.7	1667.6	1689.7	1711.9
-45	54.5	-24.7	1410.6	1432.3	1453.8	1475.1	1496.3	1517.6	1538.8	1560.1	1581.5	1603.0	1624.6	1646.3	1668.2	1690.3	1712.5
-50	40.8		1412.8	1434.1	1455.3	1476.4	1497.5	1518.5	1539.7	1560.9	1582.2	1603.6	1625.2	1646.9	1668.7	1690.7	1712.9

Fuente [Universidad de Sevilla, Colección de tablas, 2006]

E5. Propiedades termodinámicas del líquido subenfriado y vapor sobrecalentado (entropía) R-717

t _{sat} (°C)	P (kPa)	t (°C)															
		-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
70	3312.0	0.087	0.279	0.464	0.645	0.820	0.990	1.157	1.319	1.479	1.636	1.792	1.948		4.967	5.073	5.168
65	2947.8	0.088	0.279	0.465	0.646	0.821	0.992	1.158	1.321	1.480	1.638	1.794	1.950	4.957	5.068	5.166	5.255
60	2614.5	0.088	0.280	0.466	0.647	0.822	0.993	1.159	1.322	1.482	1.639	1.796		5.063	5.164	5.256	5.340
55	2310.3	0.089	0.281	0.467	0.648	0.823	0.994	1.160	1.323	1.483	1.641	1.797	5.057	5.162	5.257	5.343	5.423
50	2033.5	0.090	0.282	0.468	0.648	0.824	0.995	1.161	1.324	1.484	1.642		5.160	5.258	5.346	5.428	5.506
45	1782.3	0.090	0.282	0.469	0.649	0.825	0.995	1.162	1.325	1.485	1.643	5.158	5.259	5.350	5.434	5.513	5.588
40	1555.3	0.091	0.283	0.469	0.650	0.825	0.996	1.163	1.326	1.486		5.260	5.354	5.441	5.521	5.597	5.670
35	1350.8	0.091	0.283	0.470	0.650	0.826	0.997	1.164	1.327	1.487	5.262	5.359	5.448	5.531	5.608	5.682	5.752
30	1167.4	0.092	0.284	0.470	0.651	0.827	0.998	1.164	1.328		5.364	5.456	5.541	5.620	5.695	5.766	5.835
25	1003.5	0.092	0.284	0.471	0.651	0.827	0.998	1.165	1.328	5.370	5.465	5.552	5.633	5.709	5.782	5.852	5.919
20	857.8	0.093	0.285	0.471	0.652	0.828	0.999	1.165		5.474	5.563	5.647	5.725	5.799	5.871	5.939	6.005
15	728.8	0.093	0.285	0.471	0.652	0.828	0.999	1.166	5.484	5.576	5.662	5.742	5.818	5.891	5.960	6.028	6.093
10	615.3	0.093	0.285	0.472	0.653	0.828	0.999		5.590	5.678	5.761	5.838	5.912	5.983	6.052	6.118	6.182
5	516.0	0.093	0.286	0.472	0.653	0.829	1.000	5.605	5.696	5.780	5.860	5.936	6.008	6.078	6.145	6.211	6.274
0	429.6	0.094	0.286	0.472	0.653	0.829		5.715	5.802	5.884	5.961	6.035	6.106	6.175	6.241	6.306	6.369
-5	354.9	0.094	0.286	0.472	0.653	0.829	5.735	5.825	5.909	5.988	6.064	6.137	6.207	6.275	6.340	6.404	6.467
-10	290.8	0.094	0.286	0.473	0.653		5.850	5.936	6.018	6.095	6.170	6.241	6.310	6.377	6.442	6.506	6.568
-15	236.2	0.094	0.286	0.473	0.654	5.876	5.965	6.049	6.129	6.205	6.278	6.349	6.417	6.483	6.548	6.611	6.672
-20	190.1	0.094	0.286	0.473		5.996	6.083	6.165	6.243	6.318	6.390	6.460	6.527	6.593	6.657	6.720	6.781
-25	151.5	0.094	0.287	0.473	6.030	6.119	6.203	6.284	6.360	6.434	6.506	6.575	6.642	6.707	6.771	6.833	6.894
-30	119.4	0.094	0.287		6.158	6.245	6.327	6.406	6.482	6.555	6.626	6.694	6.761	6.826	6.889	6.951	7.012
-35	93.1	0.094	0.287	6.199	6.289	6.374	6.455	6.533	6.608	6.680	6.751	6.819	6.885	6.950	7.013	7.075	7.135
-40	71.7	0.094		6.336	6.424	6.508	6.588	6.665	6.739	6.811	6.881	6.949	7.015	7.079	7.142	7.204	7.264
-45	54.5	0.094	6.386	6.477	6.564	6.647	6.726	6.802	6.876	6.947	7.017	7.084	7.150	7.214	7.277	7.339	7.399
-50	40.8		6.535	6.624	6.709	6.791	6.870	6.946	7.019	7.090	7.159	7.227	7.292	7.356	7.419	7.481	7.541

Fuente [Universidad de Sevilla, Colección de tablas, 2006]

E6. Propiedades termodinámicas del líquido subenfriado y vapor sobrecalentado (entalpía) R-22

t _{sat} (°C)	P (kPa)	t (°C)															
		-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
70	2997.7	144.7	155.6	166.6	177.7	189.1	200.6	212.3	224.3	236.7	249.5	262.9	277.2		430.0	441.6	452.2
65	2701.6	144.6	155.5	166.5	177.7	189.0	200.5	212.2	224.3	236.7	249.5	263.0	277.5	423.8	435.5	446.0	456.0
60	2428.1	144.5	155.4	166.4	177.6	188.9	200.4	212.2	224.2	236.7	249.6	263.2		429.4	439.9	449.8	459.3
55	2175.7	144.4	155.3	166.3	177.5	188.8	200.4	212.1	224.2	236.7	249.6	263.3	423.4	433.9	443.7	453.0	462.1
50	1943.3	144.3	155.2	166.2	177.4	188.8	200.3	212.1	224.2	236.7	249.7		428.0	437.7	446.9	455.9	464.7
45	1729.8	144.2	155.1	166.2	177.3	188.7	200.3	212.1	224.2	236.7	249.7	422.1	431.7	440.8	449.7	458.3	466.9
40	1534.1	144.1	155.1	166.1	177.3	188.6	200.2	212.0	224.2	236.7		425.9	434.9	443.6	452.1	460.5	468.9
35	1355.3	144.1	155.0	166.0	177.2	188.6	200.2	212.0	224.2	236.7	420.0	429.0	437.5	445.9	454.2	462.4	470.6
30	1192.3	144.0	154.9	166.0	177.2	188.6	200.1	212.0	224.2		423.1	431.6	439.8	448.0	456.1	464.1	472.2
25	1044.3	144.0	154.9	165.9	177.1	188.5	200.1	212.0	224.2	417.4	425.7	433.8	441.8	449.8	457.7	465.6	473.6
20	910.3	143.9	154.8	165.9	177.1	188.5	200.1	212.0		419.9	427.9	435.8	443.6	451.4	459.1	467.0	474.8
15	789.6	143.9	154.8	165.8	177.1	188.4	200.1	211.9	414.2	422.1	429.8	437.5	445.1	452.8	460.4	468.1	475.9
10	681.2	143.8	154.7	165.8	177.0	188.4	200.0		416.3	423.9	431.4	438.9	446.4	454.0	461.5	469.2	476.9
5	584.3	143.8	154.7	165.8	177.0	188.4	200.0	410.6	418.1	425.5	432.9	440.2	447.6	455.0	462.5	470.1	477.7
0	498.1	143.7	154.7	165.7	177.0	188.4		412.4	419.6	426.8	434.1	441.3	448.6	456.0	463.4	470.9	478.4
-5	421.9	143.7	154.7	165.7	176.9	188.4	406.7	413.8	420.9	428.0	435.1	442.3	449.5	456.8	464.1	471.6	479.1
-10	354.9	143.7	154.6	165.7	176.9		408.1	415.1	422.0	429.0	436.0	443.1	450.3	457.5	464.8	472.2	479.7
-15	296.3	143.7	154.6	165.7	176.9	402.5	409.3	416.1	423.0	429.9	436.8	443.8	450.9	458.1	465.4	472.7	480.2
-20	245.4	143.6	154.6	165.7		403.7	410.3	417.0	423.8	430.6	437.5	444.4	451.5	458.6	465.9	473.2	480.6
-25	201.5	143.6	154.6	165.6	398.1	404.6	411.2	417.8	424.5	431.2	438.1	445.0	452.0	459.1	466.3	473.6	481.0
-30	163.9	143.6	154.6		399.0	405.4	411.9	418.4	425.1	431.8	438.5	445.4	452.4	459.5	466.6	473.9	481.3
-35	132.0	143.6	154.5	393.4	399.7	406.1	412.5	419.0	425.5	432.2	438.9	445.8	452.7	459.8	466.9	474.2	481.5
-40	105.2	143.6		394.1	400.4	406.6	413.0	419.4	425.9	432.6	439.3	446.1	453.0	460.1	467.2	474.4	481.8
-45	82.9	143.6	388.6	394.7	400.9	407.1	413.4	419.8	426.3	432.9	439.6	446.4	453.3	460.3	467.4	474.6	481.9
-50	64.5		389.2	395.2	401.3	407.5	413.7	420.1	426.6	433.1	439.8	446.6	453.5	460.5	467.6	474.8	482.1

Fuente [Universidad de Sevilla, Colección de tablas, 2006]

E7. Propiedades termodinámicas del líquido subenfriado y vapor sobrecalentado (entropía) R-22

t _{sat} (°C)	P (kPa)	t (°C)															
		-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
70	2997.7	0.769	0.817	0.863	0.908	0.952	0.995	1.037	1.079	1.120	1.162	1.204	1.248		1.693	1.725	1.754
65	2701.6	0.770	0.818	0.864	0.909	0.953	0.995	1.038	1.080	1.121	1.163	1.205	1.249	1.682	1.716	1.745	1.772
60	2428.1	0.770	0.818	0.864	0.909	0.953	0.996	1.038	1.080	1.122	1.164	1.206		1.706	1.736	1.763	1.789
55	2175.7	0.771	0.818	0.865	0.910	0.954	0.997	1.039	1.081	1.123	1.165	1.208	1.696	1.727	1.755	1.781	1.806
50	1943.3	0.771	0.819	0.865	0.910	0.954	0.997	1.039	1.081	1.123	1.165		1.717	1.746	1.773	1.798	1.821
45	1729.8	0.771	0.819	0.865	0.910	0.954	0.997	1.040	1.082	1.124	1.166	1.708	1.737	1.764	1.790	1.814	1.837
40	1534.1	0.771	0.819	0.866	0.911	0.955	0.998	1.040	1.083	1.125		1.729	1.756	1.782	1.806	1.830	1.853
35	1355.3	0.772	0.820	0.866	0.911	0.955	0.998	1.041	1.083	1.125	1.720	1.748	1.774	1.799	1.823	1.846	1.868
30	1192.3	0.772	0.820	0.866	0.911	0.955	0.999	1.041	1.083		1.740	1.767	1.792	1.816	1.839	1.861	1.883
25	1044.3	0.772	0.820	0.866	0.912	0.956	0.999	1.042	1.084	1.732	1.759	1.784	1.809	1.832	1.855	1.877	1.899
20	910.3	0.772	0.820	0.867	0.912	0.956	0.999	1.042		1.751	1.777	1.802	1.826	1.849	1.871	1.893	1.914
15	789.6	0.772	0.820	0.867	0.912	0.956	0.999	1.042	1.744	1.771	1.796	1.820	1.843	1.866	1.888	1.909	1.930
10	681.2	0.773	0.820	0.867	0.912	0.956	1.000		1.764	1.789	1.814	1.837	1.860	1.882	1.904	1.925	1.946
5	584.3	0.773	0.821	0.867	0.912	0.956	1.000	1.757	1.783	1.808	1.832	1.855	1.877	1.899	1.921	1.942	1.963
0	498.1	0.773	0.821	0.867	0.912	0.957		1.777	1.802	1.826	1.850	1.873	1.895	1.917	1.938	1.959	1.979
-5	421.9	0.773	0.821	0.867	0.913	0.957	1.771	1.797	1.821	1.845	1.868	1.891	1.913	1.934	1.955	1.976	1.997
-10	354.9	0.773	0.821	0.867	0.913		1.792	1.817	1.841	1.864	1.887	1.909	1.931	1.952	1.973	1.994	2.014
-15	296.3	0.773	0.821	0.868	0.913	1.787	1.812	1.837	1.861	1.884	1.906	1.928	1.950	1.971	1.992	2.012	2.033
-20	245.4	0.773	0.821	0.868		1.808	1.833	1.857	1.881	1.903	1.926	1.948	1.969	1.990	2.011	2.031	2.052
-25	201.5	0.773	0.821	0.868	1.804	1.830	1.854	1.878	1.901	1.924	1.946	1.968	1.989	2.010	2.031	2.051	2.071
-30	163.9	0.773	0.821		1.827	1.852	1.876	1.900	1.922	1.945	1.967	1.989	2.010	2.031	2.051	2.072	2.092
-35	132.0	0.773	0.821	1.824	1.850	1.875	1.898	1.922	1.944	1.967	1.989	2.010	2.031	2.052	2.073	2.093	2.113
-40	105.2	0.773		1.848	1.874	1.898	1.922	1.945	1.967	1.989	2.011	2.033	2.054	2.075	2.095	2.115	2.135
-45	82.9	0.773	1.847	1.873	1.898	1.922	1.946	1.968	1.991	2.013	2.035	2.056	2.077	2.098	2.118	2.139	2.159
-50	64.5		1.873	1.899	1.923	1.947	1.970	1.993	2.016	2.038	2.059	2.081	2.102	2.122	2.143	2.163	2.183

Fuente [Universidad de Sevilla, Colección de tablas, 2006]

E8. Ciclo ideal acondicionamiento de aire

E9. Ciclo ideal de dos etapas (presión media de evaporación)

E10. Ciclo ideal de dos etapas (presión baja de evaporación)

E11. Ciclo ideal unidad condensadora y evaporadores CTE0900 - CTE1900

E12. Ciclo ideal unidad condensadora y evaporador CTE11000

E13. Ciclo ideal unidad condensadora y evaporadores FA-EV033 y FA-EV034

E14. Ciclo ideal unidad condensadora y evaporador HN001000

E15. Ciclo ideal unidad condensadora y evaporador HN002000

E16. Ciclo ideal unidad condensadora y evaporador PNEN1000

E17. Ciclo ideal unidad condensadora y evaporador CTE0A000

E18. Ciclo real acondicionamiento de aire

E19. Ciclo real de dos etapas (presión media de evaporación)

E20. Ciclo real de dos etapas (presión baja de evaporación)

E21. Propiedades termofísicas del aire

T (K)	ρ (kg/m ³)	$c_p \times 10^{-3}$ (J/kg · K)	$\mu \times 10^5$ (Pa · seg)	$\nu \times 10^5$ (m ² /seg)	$k \times 10^2$ (W/m · K)	$\alpha \times 10^5$ (m ² /seg)	Pr	$g\beta_0^2/\mu^2$ (1/K · m ³)
Aire								
250	1.4133	1.0054	1.5991	1.1315	2.2269	1.5672	0.722	2.5768×10^{11}
260	1.3587	1.0054	1.6503	1.2146	2.3080	1.6896	0.719	1.4292
280	1.2614	1.0057	1.7503	1.3876	2.4671	1.9448	0.713	1.0085
300	1.1769	1.0063	1.8464	1.5689	2.6240	2.2156	0.708	0.7371
320	1.1032	1.0073	1.9391	1.7577	2.7785	2.5003	0.703	0.5523
340	1.0382	1.0085	2.0300	1.9553	2.9282	2.7967	0.699	0.4168
360	0.9805	1.0100	2.1175	2.1596	3.0779	3.1080	0.695	0.3238
400	0.8822	1.0142	2.2857	2.5909	3.3651	3.7610	0.689	0.2031
440	0.8021	1.0197	2.4453	3.0486	3.6427	4.4537	0.684	0.1330
480	0.7351	1.0263	2.5963	3.5319	3.9107	5.1836	0.681	9.0410×10^9
520	0.6786	1.0339	2.7422	4.0410	4.1690	5.9421	0.680	6.4201
580	0.6084	1.0468	2.9515	4.8512	4.5407	7.1297	0.680	3.9962
700	0.5040	1.0751	3.3325	6.6121	5.2360	9.6632	0.684	1.7833
800	0.4411	1.0988	3.6242	8.2163	5.7743	11.9136	0.689	1.0024
1000	0.3529	1.1421	4.1527	11.1767	6.7544	16.7583	0.702	0.4462

Fuente [WELTY, Fundamentos de transferencia de calor y masa, 1965]

E22. Propiedades del agua saturada

Temp. °C <i>t</i>	Absolute Pressure, kPa <i>p</i>	Specific Volume, m^3/kg (water)			Specific Enthalpy, kJ/kg (water)			Specific Entropy, kJ/kg·K (water)			Temp. °C <i>t</i>
		Sat. Solid <i>v_f</i>	Evap. <i>v_g</i>	Sat. Vapor <i>v_g</i>	Sat. Solid <i>h_f</i>	Evap. <i>h_g</i>	Sat. Vapor <i>h_g</i>	Sat. Solid <i>s_f</i>	Evap. <i>s_g</i>	Sat. Vapor <i>s_g</i>	
-60	0.00108	0.001082	90942.00	90942.00	-446.40	2836.27	2389.87	-1.6854	13.3065	11.6211	-60
-59	0.00124	0.001082	79858.69	79858.69	-444.74	2836.46	2391.72	-1.7667	13.2452	11.5677	-59
-58	0.00141	0.001082	70212.37	70212.37	-443.06	2836.64	2393.57	-1.6698	13.8145	11.5147	-58
-57	0.00161	0.001082	61805.35	61805.35	-441.38	2836.81	2395.43	-1.6620	13.1243	11.4623	-57
-56	0.00184	0.001082	54469.39	54469.39	-439.69	2836.97	2397.28	-1.6542	13.0646	11.4104	-56
-55	0.00209	0.001082	48061.05	48061.05	-438.00	2837.13	2399.12	-1.6464	13.0054	11.3590	-55
-54	0.00238	0.001082	42455.57	42455.57	-436.29	2837.27	2400.98	-1.6386	12.9468	11.3082	-54
-53	0.00271	0.001083	37546.09	37546.09	-434.59	2837.42	2402.83	-1.6308	12.8886	11.2578	-53
-52	0.00307	0.001083	33242.14	33242.14	-432.87	2837.55	2404.68	-1.6230	12.8309	11.2079	-52
-51	0.00348	0.001083	29464.67	29464.67	-431.14	2837.68	2406.53	-1.6153	12.7738	11.1585	-51
-50	0.00394	0.001083	26145.01	26145.01	-429.41	2837.80	2408.39	-1.6075	12.7170	11.1096	-50
-49	0.00445	0.001083	23223.69	23223.70	-427.67	2837.91	2410.24	-1.5997	12.6608	11.0611	-49
-48	0.00503	0.001083	20651.68	20651.69	-425.93	2838.02	2412.09	-1.5919	12.6051	11.0131	-48
-47	0.00568	0.001083	18383.50	18383.51	-424.27	2838.12	2413.94	-1.5842	12.5498	10.9656	-47
-46	0.00640	0.001083	16381.35	16381.36	-422.41	2838.21	2415.79	-1.5764	12.4949	10.9185	-46
-45	0.00721	0.001984	14612.35	14512.36	-420.65	2838.29	2417.65	-1.5686	12.4405	10.8719	-45
-44	0.00811	0.001084	13047.65	13047.66	-418.87	2838.37	2419.50	-1.5609	12.3866	10.8257	-44
-43	0.00911	0.001084	11661.85	11661.85	-417.09	2838.44	2421.35	-1.5531	12.3330	10.7799	-43
-42	0.01022	0.001084	10433.85	10433.85	-415.30	2838.50	2423.20	-1.5453	12.2799	10.7346	-42
-41	0.01147	0.001084	9344.25	9344.25	-413.50	2838.55	2425.05	-1.5376	12.2273	10.6897	-41
-40	0.01285	0.001084	8376.33	8376.33	-411.70	2838.60	2426.90	-1.5298	12.1750	10.6452	-40
-39	0.01438	0.001085	7515.86	7515.87	-409.88	2838.64	2428.76	-1.5221	12.1232	10.6011	-39
-38	0.01608	0.001085	6750.36	6750.36	-408.07	2838.67	2430.61	-1.5143	12.0718	10.5575	-38
-37	0.01796	0.001085	6068.16	6068.17	-406.24	2838.70	2432.46	-1.5066	12.0208	10.5142	-37
-36	0.02004	0.001085	5459.82	5459.82	-404.40	2838.71	2434.31	-1.4988	11.9702	10.4713	-36
-35	0.02235	0.001085	4917.09	4917.10	-402.56	2838.73	2436.16	-1.4911	11.9199	10.4289	-35
-34	0.02490	0.001085	4432.36	4432.37	-400.72	2838.73	2438.01	-1.4833	11.8701	10.3868	-34
-33	0.02771	0.001085	3998.71	3998.71	-398.86	2838.72	2439.86	-1.4756	11.8207	10.3451	-33
-32	0.03082	0.001086	3610.71	3610.71	-397.00	2838.71	2441.72	-1.4678	11.7716	10.3037	-32
-31	0.03424	0.001086	3263.20	3263.20	-395.12	2838.69	2443.57	-1.4601	11.7229	10.2628	-31
-30	0.03802	0.001086	2951.64	2951.64	-393.25	2838.66	2445.42	-1.4524	11.6746	10.2222	-30
-29	0.04217	0.001086	2672.03	2672.03	-391.36	2838.63	2447.27	-1.4446	11.6266	10.1820	-29
-28	0.04673	0.001086	2420.89	2420.89	-389.47	2838.59	2449.12	-1.4369	11.4790	10.1421	-28
-27	0.05174	0.001086	2195.23	2195.23	-387.57	2838.53	2450.97	-1.4291	11.5318	10.1026	-27
-26	0.05725	0.001087	1992.15	1992.15	-385.66	2838.48	2452.82	-1.4214	11.4849	10.0634	-26
-25	0.06329	0.001087	1809.35	1809.35	-383.74	2838.41	2454.67	-1.4137	11.4383	10.0246	-25
-24	0.06991	0.001087	1644.59	1644.59	-381.84	2838.34	2456.52	-1.4059	11.3921	9.9862	-24
-23	0.07716	0.001087	1495.98	1495.98	-379.89	2838.26	2458.37	-1.3982	11.3462	9.9480	-23
-22	0.08510	0.001087	1361.94	1361.94	-377.95	2838.17	2460.22	-1.3905	11.3007	9.9102	-22
-21	0.09378	0.001087	1240.77	1240.77	-376.01	2838.07	2462.06	-1.3828	11.2555	9.8728	-21
-20	0.10326	0.001087	1131.27	1131.27	-374.06	2837.97	2463.91	-1.3750	11.2106	9.8356	-20
-19	0.11362	0.001088	1032.18	1032.18	-372.10	2837.86	2465.76	-1.3673	11.1661	9.7988	-19
-18	0.12492	0.001088	942.46	942.47	-370.13	2837.74	2467.61	-1.3596	11.1218	9.7623	-18
-17	0.13725	0.001088	861.17	861.18	-368.15	2837.61	2469.46	-1.3518	11.0779	9.7261	-17
-16	0.15068	0.001088	787.48	787.49	-366.17	2837.47	2471.30	-1.3441	11.0343	9.6902	-16
-15	0.16530	0.001088	720.59	720.59	-364.18	2837.33	2473.15	-1.3364	10.9910	9.6546	-15
-14	0.18122	0.001088	659.86	659.86	-362.18	2837.18	2474.99	-1.3287	10.9480	9.6193	-14
-13	0.19852	0.001089	604.65	604.65	-360.18	2837.02	2476.84	-1.3210	10.9053	9.5844	-13
-12	0.21732	0.001089	554.45	554.45	-358.17	2836.85	2478.68	-1.3232	10.8629	9.5497	-12
-11	0.23774	0.001089	508.75	508.75	-356.15	2836.68	2480.53	-1.3055	10.8208	9.5153	-11
-10	0.25990	0.001089	467.14	467.14	-354.12	2836.49	2482.37	-1.2978	10.7790	9.4812	-10
-9	0.28393	0.001089	429.21	429.21	-352.08	2836.30	2484.22	-1.2901	10.7375	9.4474	-9
-8	0.30998	0.001090	394.64	394.64	-350.04	2836.10	2486.06	-1.2824	10.6962	9.4139	-8
-7	0.33819	0.001090	363.07	363.07	-347.99	2835.89	2487.90	-1.2746	10.6552	9.3806	-7
-6	0.36874	0.001090	334.25	334.25	-345.93	2835.68	2489.74	-1.2669	10.6145	9.3476	-6
-5	0.40176	0.001090	307.91	307.91	-343.87	2835.45	2491.58	-1.2592	10.4741	9.3149	-5
-4	0.43747	0.001090	283.83	283.83	-341.80	2835.22	2493.42	-1.2515	10.5340	9.2825	-4
-3	0.47606	0.001090	261.79	261.79	-339.72	2834.98	2495.26	-1.2438	10.4941	9.2503	-3
-2	0.51772	0.001091	241.60	241.60	-337.63	2834.72	2497.10	-1.2361	10.4544	9.2184	-2
-1	0.56267	0.001091	223.11	223.11	-335.53	2834.47	2498.93	-1.2284	10.4151	9.1867	-1
0	0.61115	0.001091	206.16	206.16	-333.43	2834.20	2500.77	-1.2206	10.3760	9.1553	0

Fuente [ASHRAE Fundamentals, 2001]

Table 3 Thermodynamic Properties of Water at Saturation (Continued)

Temp., °C <i>t</i>	Absolute Pressure, kPa <i>P</i>	Specific Volume, m^3/kg (water)			Specific Enthalpy, kJ/kg (water)			Specific Entropy, kJ/(kg·K) (water)			Temp., °C <i>t</i>
		Sat. Liquid v_f	Evap. v_{fg}	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Evap. s_{fg}	Sat. Vapor s_g	
0	0.6112	0.001000	206.141	206.143	-0.04	2500.41	2500.77	0.0002	9.1553	9.1553	0
1	0.6571	0.001000	192.455	192.456	-4.18	2498.43	2502.61	0.0153	9.1134	9.1286	1
2	0.7060	0.001000	179.769	179.770	-8.39	2496.05	2504.45	0.0306	9.0716	9.1022	2
3	0.7580	0.001000	168.026	168.027	-12.60	2493.68	2506.28	0.0459	9.0302	9.0761	3
4	0.8135	0.001000	157.137	157.138	-16.81	2491.31	2508.12	0.0611	8.9890	9.0501	4
5	0.8729	0.001000	147.032	147.033	-21.02	2488.94	2509.96	0.0763	8.9482	9.0344	5
6	0.9353	0.001000	137.653	137.654	-25.22	2486.57	2511.79	0.0913	8.9077	8.9990	6
7	1.0020	0.001000	128.947	128.948	-29.42	2484.20	2513.62	0.1064	8.8674	8.9738	7
8	1.0728	0.001000	120.850	120.851	-33.62	2481.84	2515.46	0.1213	8.8273	8.9488	8
9	1.1481	0.001000	113.326	113.327	-37.82	2479.47	2517.29	0.1362	8.7878	8.9245	9
10	1.2280	0.001000	106.328	106.329	-42.01	2477.11	2519.12	0.1511	8.7484	8.8995	10
11	1.3127	0.001000	99.812	99.813	-46.21	2474.74	2520.95	0.1659	8.7093	8.8752	11
12	1.4026	0.001001	93.743	93.744	-50.40	2472.38	2522.78	0.1806	8.6705	8.8511	12
13	1.4978	0.001001	88.088	88.089	-54.59	2470.02	2524.61	0.1953	8.6319	8.8272	13
14	1.5987	0.001001	82.815	82.816	-58.78	2467.66	2526.44	0.2099	8.5936	8.8035	14
15	1.7055	0.001001	77.897	77.898	-62.97	2465.30	2528.26	0.2244	8.5556	8.7801	15
16	1.8184	0.001001	73.307	73.308	-67.16	2462.93	2530.09	0.2388	8.5178	8.7568	16
17	1.9380	0.001001	69.021	69.022	-71.34	2460.57	2531.92	0.2534	8.4804	8.7338	17
18	2.0643	0.001002	65.017	65.018	-75.53	2458.21	2533.74	0.2678	8.4431	8.7109	18
19	2.1978	0.001002	61.274	61.273	-79.72	2455.85	2535.56	0.2821	8.4061	8.6883	19
20	2.3388	0.001002	57.774	57.773	-83.90	2453.48	2537.38	0.2964	8.3694	8.6658	20
21	2.4877	0.001002	54.491	54.490	-88.08	2451.12	2539.20	0.3107	8.3329	8.6436	21
22	2.6448	0.001002	51.433	51.434	-92.27	2448.75	2541.02	0.3249	8.2967	8.6215	22
23	2.8104	0.001003	48.562	48.563	-96.45	2446.39	2542.84	0.3390	8.2607	8.5996	23
24	2.9851	0.001003	45.872	45.873	-100.63	2444.02	2544.65	0.3531	8.2249	8.5780	24
25	3.1692	0.001003	43.350	43.351	-104.81	2441.66	2546.47	0.3672	8.1894	8.5565	25
26	3.3631	0.001003	40.985	40.986	-108.99	2439.29	2548.28	0.3812	8.1541	8.5352	26
27	3.5673	0.001004	38.766	38.767	-113.18	2436.92	2550.09	0.3951	8.1190	8.5141	27
28	3.7823	0.001004	36.682	36.683	-117.36	2434.55	2551.90	0.4090	8.0842	8.4932	28
29	4.0083	0.001004	34.726	34.727	-121.54	2432.17	2553.71	0.4229	8.0496	8.4724	29
30	4.2460	0.001004	32.889	32.889	-125.72	2429.80	2555.52	0.4367	8.0152	8.4519	30
31	4.4959	0.001005	31.161	31.161	-129.90	2427.43	2557.32	0.4505	7.9810	8.4315	31
32	4.7585	0.001005	29.535	29.535	-134.08	2425.05	2559.13	0.4642	7.9471	8.4112	32
33	5.0343	0.001005	28.006	28.007	-138.26	2422.67	2560.93	0.4779	7.9133	8.3912	33
34	5.3239	0.001006	26.567	26.568	-142.44	2420.29	2562.73	0.4915	7.8790	8.3713	34
35	5.6278	0.001006	25.212	25.213	-146.62	2417.91	2564.53	0.5051	7.8445	8.3516	35
36	5.9466	0.001006	23.933	23.934	-150.80	2415.53	2566.33	0.5186	7.8104	8.3320	36
37	6.2810	0.001007	22.733	22.734	-154.98	2413.14	2568.12	0.5321	7.7765	8.3127	37
38	6.6315	0.001007	21.599	21.600	-159.16	2410.76	2569.91	0.5456	7.7429	8.2934	38
39	6.9987	0.001008	20.529	20.530	-163.34	2408.37	2571.71	0.5590	7.7104	8.2744	39
40	7.3835	0.001008	19.521	19.521	-167.52	2405.98	2573.50	0.5724	7.6781	8.2555	40
41	7.7863	0.001008	18.567	18.568	-171.70	2403.58	2575.28	0.5857	7.6461	8.2367	41
42	8.2080	0.001009	17.667	17.668	-175.88	2401.19	2577.07	0.5990	7.6141	8.2181	42
43	8.6492	0.001009	16.818	16.819	-180.06	2398.79	2578.85	0.6122	7.5825	8.1997	43
44	9.1107	0.001010	16.014	16.015	-184.24	2396.39	2580.63	0.6254	7.5510	8.1814	44
45	9.5932	0.001010	15.255	15.256	-188.42	2393.99	2582.41	0.6386	7.5197	8.1632	45
46	10.0976	0.001010	14.537	14.538	-192.60	2391.59	2584.19	0.6517	7.4886	8.1452	46
47	10.6246	0.001011	13.858	13.859	-196.78	2389.18	2585.96	0.6648	7.4576	8.1274	47
48	11.1751	0.001011	13.214	13.215	-200.97	2386.77	2587.74	0.6778	7.4269	8.1097	48
49	11.7500	0.001012	12.606	12.607	-205.15	2384.36	2589.51	0.6908	7.4013	8.0921	49
50	12.3499	0.001012	12.029	12.029	-209.33	2381.94	2591.27	0.7038	7.3709	8.0747	50
51	12.9759	0.001013	11.482	11.483	-213.51	2379.53	2593.04	0.7167	7.3407	8.0574	51
52	13.6290	0.001013	10.964	10.965	-217.70	2377.10	2594.80	0.7296	7.3107	8.0403	52
53	14.3100	0.001014	10.473	10.474	-221.88	2374.68	2596.56	0.7424	7.2809	8.0233	53
54	15.0200	0.001014	10.001	10.001	-226.06	2372.26	2598.32	0.7552	7.2512	8.0064	54
55	15.7597	0.001015	9.563	9.563	-230.25	2369.83	2600.07	0.7680	7.2217	7.9897	55
56	16.5304	0.001015	9.147	9.148	-234.43	2367.39	2601.82	0.7807	7.1924	7.9731	56
57	17.3331	0.001016	8.744	8.748	-238.61	2364.96	2603.57	0.7934	7.1632	7.9566	57
58	18.1690	0.001016	8.360	8.370	-242.80	2362.52	2605.32	0.8061	7.1342	7.9403	58
59	19.0387	0.001017	8.004	8.014	-246.99	2360.08	2607.06	0.8187	7.1054	7.9240	59
60	19.9444	0.001017	7.667	7.667	-251.17	2357.63	2608.80	0.8313	7.0767	7.9079	60
61	20.8885	0.001018	7.348	7.348	-255.36	2355.19	2610.54	0.8438	7.0482	7.8920	61
62	21.864	0.001018	7.037	7.037	-259.54	2352.73	2612.28	0.8563	7.0198	7.8763	62
63	22.882	0.001019	6.733	6.733	-263.73	2350.28	2614.01	0.8688	6.9916	7.8604	63
64	23.940	0.001019	6.439	6.439	-267.92	2347.82	2615.74	0.8812	6.9636	7.8448	64
65	25.040	0.001020	6.153	6.154	-272.11	2345.36	2617.46	0.8936	6.9357	7.8293	65
66	26.180	0.001020	5.880	5.880	-276.30	2342.89	2619.19	0.9060	6.9080	7.8140	66
67	27.366	0.001021	5.619	5.619	-280.49	2340.42	2620.90	0.9183	6.8804	7.7987	67
68	28.596	0.001022	5.369	5.369	-284.68	2337.95	2622.62	0.9306	6.8530	7.7836	68
69	29.873	0.001022	5.145	5.145	-288.87	2335.47	2624.33	0.9429	6.8257	7.7686	69

Fuente [ASHRAE Fundamentals, 2001]

E23. Calor específico a presión constante del aire

14-1 • AIRE SECO Y AIRE ATMOSFÉRICO

El aire es una mezcla de nitrógeno, oxígeno y pequeñas cantidades de otros gases. Normalmente, el aire en la atmósfera contiene cierta cantidad de vapor de agua (o *humedad*) y se conoce como **aire atmosférico**. En contraste, el aire que no contiene vapor de agua se denomina **aire seco**. Es conveniente tratar al aire como una mezcla de vapor de agua y aire seco, porque la composición del aire seco permanece relativamente constante, pero la cantidad de vapor de agua varía por la condensación y evaporación de los océanos, lagos, ríos, regaderas e incluso del agua del cuerpo humano. A pesar de que la cantidad de vapor de agua en el aire es pequeña, desempeña un importante papel en la comodidad cotidiana del ser humano. En consecuencia, es importante tomarlo en cuenta en los dispositivos de acondicionamiento de aire.

La temperatura del aire en aplicaciones de acondicionamiento de aire varía de -10 a cerca de 50°C . En este intervalo, el aire seco puede tratarse como un gas ideal con un valor c_p constante de $1.005 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ [$0.240 \text{ Btu/lbm} \cdot \text{R}$] con un error insignificante (menor a 0.2%), como se ilustra en la figura 14-1. Si se toma como temperatura de referencia los 0°C , la entalpía y el cambio de entalpía de aire seco se determinan por

AIRE SECO		
$T, ^\circ\text{C}$	$c_p, \text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$	
-10	1.0038	
0	1.0041	
10	1.0045	
20	1.0049	
30	1.0054	
40	1.0059	
50	1.0065	

FIGURA 14-1

Puede suponerse que el c_p será constante a $1.005 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ en el intervalo de temperatura de -10 a 50°C con un error menor de 0.2% .

$$h_{\text{aire seco}} = c_p T = (1.005 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}) T \quad (\text{kJ/kg}) \quad (14-1a)$$

y

$$\Delta h_{\text{aire seco}} = c_p \Delta T = (1.005 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}) \Delta T \quad (\text{kJ/kg}) \quad (14-1b)$$

ANEXO F

- F1. Ciclo propuesto CTE09000 Y CTE19000**
- F2. Ciclo propuesto CTE11000**
- F3. Ciclo propuesto FA-EV033 y FA-EV034**
- F4. Ciclo propuesto PNEN1000**
- F5. Ciclo propuesto CTE0A000**
- F6. Procedimiento de detección de fugas de amoníaco en las instalaciones del sistema de refrigeración**

F.1 Especificaciones del factor DT para los evaporadores VILTER

Air Unit Selection Guidelines

Basic Considerations In Selecting Air Units

- A. Refrigeration Load
- B. Product Requirements
- C. Room Design
- D. Air Circulation
- E. Refrigeration System
- F. Defrost

Refrigeration Load

A detailed refrigeration load should be calculated for each application. It should take into consideration the product requirements, room heat transmission and infiltration, motors, lights, people and machinery. Also included should be air unit down time and heat gain due to defrost. Although it is not a substitute for a detailed calculation the following table can be used for budget and rough estimating purposes.

LOAD ESTIMATING GUIDELINES

Type Room	Size & Considerations	Room Temp.	Design T.D.	Approx. Load
Wet Cooler	Small	35 to 50	8-10	150 ft ³ /Ton
	Large-over 50,000 ft ³			200-300 ft ³ /Ton
Dry Cooler	Small	20 to 50	10-15	200 ft ³ /Ton
	Large-over 50,000 ft ³			250-350 ft ³ /Ton
Work & Process	Worker Comfort Low Air Velocity	35 to 50	10-20	150 ft ³ /Ton
Beef Chill	90#/ft ³ -750# Carcass 300#/ft of rail	30 to 35	10	25-30 ft ³ /Ton
Pork Chill	70#/ft ³ -180# Carcass 200#/ft of rail	30 to 35	10	30-35 ft ³ /Ton
Freezer	Small	-10° to 0°F	10-12	200 ft ³ /Ton
	Large-over 50,000 ft ³			300-500 ft ³ /Ton
Docks	Light usage	35 to 55	10-20	200 ft ³ /Ton
	Heavy usage			150 ft ³ /Ton

Rated Capacity

Vilter air units are rated in BTUH/° F. TD for liquid recirculation and flooded feed. Capacity is based on total heat removal with a lightly frosted coil. For wet coil operation, increase capacities by 12%. The rating tables apply to recirculated and flooded operation at suction temperatures above -40° F. Direct expansion units have reduced capacity because of the coil surface required for superheat and pressure drop. Use multipliers in the table below for operation at temperatures shown. Contact factory for operation at temperatures not shown.

Low Temperature and Direct Expansion Multipliers

	Saturated Evaporating Temp (° F.)			
	+ 20 & above	0	- 20 ° F.	- 40° F.
DX-Ammonia	.84	.75	.65	.55
DX-Halocarbon	.86	.86	.86	.70

TD is the temperature difference between the room or return air temperature and the saturated evaporating temperature. Rated capacity in BTUH/° F. TD is multiplied by the TD to determine total unit capacity, Q, in BTUH. The rating tables apply to TD's in the range of 8° F. to 20° F.

$$Q \text{ unit} = \text{Basic Rating} \times \text{TD (BTUH)}$$

The formula below are approximations to help visualize the heat transfer of the circulating air.

$$Q \text{ unit} = Q \text{ total} = Q \text{ sensible} + Q \text{ latent}$$

$$Q \text{ sensible} = \text{air flow (CFM)} \times 1.1 \times \Delta T \text{ air}$$

$$\Delta T \text{ air} = (\text{room air temperature} - \text{leaving air temperature})$$

$$Q \text{ total} = \text{air flow (CFM)} \times 4.5 \times \Delta h \text{ air}$$

$$\Delta h \text{ air} = \text{enthalpy air difference (BTU/lb. dry air)}$$

Fin Spacing. 4 fpi is recommended for all wet coil operations and where low frost conditions exist. 3 fpi and variable fin spacing (2 row @ 3 fpi + balance 4 fpi) is recommended for low temperature applications and high frost conditions. 2 fpi spacing and bare tube are available on custom units for very high frost conditions.

Coil Face Velocity. With face velocities greater than 700 FPM, water carry-over can occur when coils are operating at temperatures above freezing, or when frosted coils are air defrosted. The face velocity at which carry-over begins varies with the design of the coil and air unit. An air unit with a deeper air plenum enables the air to use the entire face of the coil and thus a uniform air velocity and optimum coil heat transfer.

Air Throw will vary greatly with room design, product loading, obstructions and air unit location. Air leaving a propeller fan discharges outwardly in the shape of a cone. The table below approximates air throw for the various units with unrestricted free space above the product. Use of louvers will increase air throw.

AIR THROW (Feet)	
VLP	30-50
LP	40-70
SC, SSC	60-80
HP	80-100
BF	80-120
BB/KK	20 from each side
UF, SUF	20 from each side
(18" fans)	15 from each end
UF, SUF	30 from each side
(24" fans)	25 from each end

External Static Pressure (E.S.P.) may be required to move air through ductwork or tightly spaced product. "BF" and "C" specifications provide unit capacity with ESP capabilities. ESP can be furnished with other models by special fan and motor selection. Contact factory for specific requirements.

F2. Ciclo propuesto CTE11000

F3. Ciclo propuesto FA-EV033 y FA-EV034

F4. Ciclo propuesto PNEN1000

F5. Ciclo propuesto CTE0A000

F.6 Procedimiento de detección de fugas de amoníaco en las instalaciones del sistema de refrigeración

Las fugas un sistema de refrigeración pueden presentarse de dos maneras: hacia adentro, cuando la presión de la línea del refrigerante es menor que la atmosférico, el aire y la humedad son arrastrados hacia adentro del sistema, aumentando la presión y temperatura en la descarga, acelerando la rapidez de corrosión y causando el congelamiento de las válvulas de control del refrigerante. La segunda manera se da si la fuga es hacia afuera, la presión del sistema es mayor que la atmosférica, el refrigerante se fugara del sistema al exterior.

PROCEDIMIENTO PARA DETECCION DE FUGAS EN LAS INSTALACIONES

1. Realizar una inspección visual previa en las instalaciones revisando: tubería, válvulas, bridas, uniones soldaduras y todo elemento que actúe con la presión del refrigerante
2. Clasificar las zonas de inspección mediante presiones de trabajo es decir: presión de condensación, presión alta, presión media y presión baja
3. Preparar una solución de jabón relativamente viscosa, que esté libre de burbujas.
4. Verificar que la presión en cada línea o tubería sea de por lo menos 50 Psi o mayor para que resulte adecuada esta prueba.
5. Aplicar la solución de jabón con una brocha en la área sospechosa y evaluar
6. Utilizar una luz fuerte para examinar el área.
7. Si existe formación de burbujas en la solución de jabón se tiene de una fuga del refrigerante.
8. Una vez identificada el área se debe señalarla para posteriormente coordinar el pronto arreglo de esta anomalía
9. Si visiblemente no se observa formación de burbujas, se debe continuar proseguir

PROCEDIMIENTO OPCIONAL SISTEMAS DE AMONIACO

- En sistemas de amoniaco se puede emplear una vela de azufre, junto a las áreas donde exista posibles fugas. La anomalía es detectada cuando la vela produce humo blanco denso (sulfito de amoniaco)
- Otra opción es usar papel de fenolftaleína humedecido que en contacto con vapor de amoniaco cambia su color a rojo

.PROCEDIMIENTO OPCIONAL SISTEMAS DE HALOCARBUIROS

- Este método consiste en emplear una antorchahalura para detectar las fugas. La antorcha está constituida por un elemento de cobre, el cual es calentado por una llama, el aire de la combustión se pasa a través de una manguera de hule.
- Un extremo de la cual esta fija en la antorcha. El extremo libre de la manguera es pasado a través de las áreas sospechosas. La presencia de un vapor halocarburo es detectada cuando la flama cambia de color normal a un verde brillante o morado. La antorcha debe manejarse solo en espacios bien ventilados.