

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN EN LA PLANTA PULVERIZADORA COLANTA EN PLANETA RICA CÓRDOBA

Autor:

ANDRES FELIPE SALAS VILLALVA

**PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA,
MECATRÓNICA E INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURAS**



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

PAMPLONA, septiembre 6 de 2017

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN EN LA PLANTA PULVERIZADORA COLANTA EN PLANETA RICA CÓRDOBA

ANDRES FELIPE SALAS VILLALVA

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO**

Director: EDISON MARTÍNEZ OVIEDO

Ing. Mecánico, Magister en Controles Industriales

ed1son1nvent@gmail.com

**PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA,
MECATRÓNICA E INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURAS
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

Pamplona, septiembre 6 de 2017

Dedicatoria.

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud, inteligencia y sabiduría para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi madre Carmen.

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante, porque me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi padre Isidoro.

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundido siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

A mi hermana Andrea.

Por ser un ejemplo de hermana que me apoya y siempre tiene un consejo sabio para darme e incentivar me a seguir adelante en momentos difíciles.

Y a todos aquellos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis.

¡Gracias a ustedes!

Agradecimientos.

Al ingeniero Edison Martínez Oviedo, quien es el director de este proyecto de grado, por su colaboración incondicional y su significativo aporte académico y profesional durante mi carrera universitaria.

A la Ingeniera y gerente Yolima Agamez, al Ingeniero Hernán Payares y al personal técnico del área de mantenimiento de la Pulverizadora Colanta S.A. de Planeta Rica Córdoba por su colaboración y confianza durante la realización de este trabajo.

A mis familiares y amigos por acompañarme en todo momento, confiar en mí y motivarme a mejorar como persona y profesional.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	28
2	JUSTIFICACIÓN.....	29
3	OBJETIVOS.....	30
3.1	OBJETIVO GENERAL	30
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	30
4	SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN Y PROCESOS EN LA PLANTA COLANTA 31	
4.1	CICLOS DE REFRIGERACIÓN.	31
4.1.1	Sistema Por Compresión De Vapor.....	31
4.1.2	Sistema De Refrigeración De Gas.....	32
4.1.3	Sistema De Refrigeración Por Absorción.	32
4.1.4	Sistema De Refrigeración Termoeléctrica.	33
4.1.5	Sistema Con Refrigerante Secundario.	34
4.2	PROCESOS EN LA PLANTA COLANTA.....	34
4.2.1	Recibo Y Almacenamiento De Leche.	35
4.2.1.1	Recibo de leche en carrotanques.....	36
4.2.1.2	Recibo de leche en canecas.	36
4.2.2	Proceso De Pasteurización De La Leche.	36
4.2.3	Proceso De Pulverización.....	37
4.2.4	Proceso De Mantequilla.....	40
4.2.5	Proceso De Tampico.	42
4.3	GENERALIDADES DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE LA PLANTA PROCESADORA, COOPERATIVA COLANTA S.A. EN PLANETA RICA, CÓRDOBA.....	42
4.3.1	Características Del Sistema.....	42
4.3.1.1	Subsistema por recirculación de líquidos.	42
4.3.1.2	Subsistema con evaporador inundado.....	43
4.3.2	Equipos De Refrigeración.....	46
4.3.2.1	Compresores.....	46
4.3.2.1.1	Compresor Monotornillo Vilter VSS 601 (Ver Figura 4.14).....	46
4.3.2.1.2	Compresor de Pistón Crepaco C-3318.KH10	52
4.3.2.2	Condensadores evaporativos.....	58

4.3.2.2.1	Condensadores evaporativos EVAPCO.....	58
4.3.2.2.2	Condensadores evaporativos BALTIMORE	61
4.3.2.3	Tanques de almacenamiento del amoníaco.....	63
4.3.2.4	Bombas en operación.	64
4.3.2.5	Válvulas en operación.....	66
4.3.2.5.1	Válvula de retención (Check Valve).	66
4.3.2.5.2	Válvula de compuerta (Gate Valve).	67
4.3.2.5.3	Válvula de bola (Ball Valve).	67
4.3.2.5.4	Válvula de seguridad (Safety Valve).	68
4.3.2.5.5	Válvula de globo (Globe Valve).....	68
4.3.2.5.6	Válvula de cuchilla (Blade Valve).....	69
4.3.3	Operación Del Sistema.....	69
4.3.4	Equipos Que Consumen Frío.	71
4.3.4.1	Generalidades de los intercambiadores de calor ALFA LAVAL. .	71
4.3.4.2	Generalidades de los intercambiadores SONDEX.....	74
4.3.4.3	Generalidades de los intercambiadores FISCHER.	78
4.3.4.4	Enfriador de Placas Recibo Carrotanques (Isla).	80
4.3.4.5	Enfriador de placas para crema cruda.	81
4.3.4.6	Enfriador de placas de leche cruda en recibo de leche.....	82
4.3.4.7	Enfriador de placas para suero.	82
4.3.4.8	Pasteurizador de la sala de pasterización.....	83
4.3.4.9	Pasteurizador de crema.	84
4.3.4.10	Deshumificador de aire.....	84
5	ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	85
5.1	ESPECIFICACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	85
5.2	CALCULO DE LAS CARGAS TERMICAS en los equipos que consumen frio. 86	
5.2.1	Carga Térmica En El Enfriador De Placas De Recibo De Carrotanques (Isla). 86	
5.2.2	Carga Térmica En El Enfriador De Placas Para Crema Cruda.....	87

5.2.3	Carga Térmica En El Enfriador De Placas De Leche Cruda En Recibo De Leche.	89
5.2.4	Carga Térmica En El Enfriador De Placas Para Suero.....	90
5.2.5	Carga Térmica En El Pasteurizador De La Sala De Pasterización....	91
5.2.6	Carga Térmica En El Pasteurizador De Crema.	92
5.2.7	Carga Térmica En El Deshumidificador De Aire.	93
5.3	CAPACIDAD DE CARGA TÉRMICA DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE FRÍO.	95
5.3.1	Transferencia Total De Calor Banco 1.....	95
5.3.2	Transferencia Total De Calor Banco 2.....	97
5.3.3	Transferencia Total De Calor Banco 3.....	100
5.3.4	Carga Térmica En El Chiller.	102
5.4	DELIBERACIÓN DE LAS CARGAS TÉRMICAS OBTENIDAS.....	103
5.5	PÉRDIDA DE CARGA TÉRMICA EN TRAMOS DE TUBERÍAS.	103
6.	CONCLUSIONES	106
7.	RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	107
8.	REFERENCIAS	108
9.	ANEXOS.....	111

LISTA DE TABLAS

Tabla 9-1 Tipos de compresores Vilter y sus principales características.	111
Tabla 9-2 Densidad y viscosidad de la leche y la nata de leche a diferentes temperaturas.	112
Tabla 9-3 Composición y propiedades físicas de la leche.....	112
Tabla 9-4 Calor específico del agua entre 0°C y 100°C.....	113
Tabla 9-5 Densidad del agua líquida entre 0°C y 100°C.....	114

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 Diagrama del sistema de refrigeración por compresión de vapor.....	31
Figura 4.2 Diagrama del sistema de refrigeración de gas.	32
Figura 4.3 Diagrama del sistema de refrigeración por absorción.....	33
Figura 4.4 Diagrama del sistema de refrigeración termoeléctrico	33
Figura 4.5 Diagrama del sistema con refrigerante secundario.	34
Figura 4.6 Flujograma de la línea de proceso de recibo de leche.....	35
Figura 4.7 Línea de pasteurización de la leche.....	37
Figura 4.8 Línea Pulverización de leche	39
Figura 4.9 Línea de proceso de la mantequilla.....	41
Figura 4.10 Diagrama del sistema por recirculación del líquido.....	43
Figura 4.11 Diagrama del sistema de evaporador inundado	44
Figura 4.12 Diagrama Sistema de Refrigeración del Chiller.....	45
Figura 4.13 Sistema de refrigeración de los Bancos de Hielo.....	46
Figura 4.14 Diferentes componentes del compresor monotornillo Vilter VSS-601 (1 de 4)	47
Figura 4.15 Diferentes componentes del compresor monotornillo Vilter VSS-601 (2 de 4)	47
Figura 4.16 Diferentes componentes del compresor monotornillo Vilter VSS-601 (3 de 4)	48
Figura 4.17 Diferentes componentes del compresor monotornillo Vilter VSS-601 (4 de 4)	48
Figura 4.18 Niveles de aceite para una óptima funcionalidad.....	50
Figura 4.19 Pantalla táctil del microcontrolador Vission.	51
Figura 4.20 Acoplamiento flexible y volante.	52
Figura 4.21 Diferentes componentes del Compresor de Pistón Crepaco C-3318.KH10 (1 de 2)	53
Figura 4.22 Diferentes componentes del Compresor de Pistón Crepaco C-3318.KH10 (2 de 2)	54
Figura 4.23 Filtro de aceite.....	56

Figura 4.24 Compresor de pistón Crepado C-3318.KH10	56
Figura 4.25 Compresor de pistón Crepado D-2399-KH10	57
Figura 4.26 Compresor de pistón Vilter A 12K 454 XLF.....	57
Figura 4.27 Tubería Thermal-Pak por EVAPCO	58
Figura 4.28 Tubería por otras compañías.	58
Figura 4.29 Serpentín Thermal-Pak.....	59
Figura 4.30 Galvanización del acero de la empresa EVAPCO	60
Figura 4.31 Boquilla de pulverización ZM	60
Figura 4.32 Condensadores evaporativos Evapco	61
Figura 4.33 Condensador evaporativo Baltimore Aircoil	63
Figura 4.34 Condensador evaporativo Baltimore Aircoil	63
Figura 4.35 Tanques de almacenamiento del amoniaco (NH ₃).....	64
Figura 4.36 Máximo nivel de llenado de los tanques de almacenamiento de amoníaco.....	64
Figura 4.37 Bombas para el suministro del agua “fría”	64
Figura 4.38 Válvula de retención ó Check Valve.....	66
Figura 4.39 Válvula de compuerta ó Gate Valve	67
Figura 4.40 Válvula de bola ó Ball Valve	67
Figura 4.41 Válvula de seguridad ó Safety Valve	68
Figura 4.42 Válvula de globo ó Globe Valve.....	69
Figura 4.43 Válvula de cuchilla ó Blade Valve.....	69
Figura 4.44 Esquema general de bancos de hielo.....	70
Figura 4.45 Estado de las válvulas según posición del switche.	71
Figura 4.46 Partes fundamentales del intercambiador de calor de placas	72
Figura 4.47 Explosionado del intercambiador de calor de placas planas	73
Figura 4.48 Forma correcta del izado del intercambiador de calor	74
Figura 4.49 Explosionado general de los intercambiadores SONDEX.....	75
Figura 4.50 Tipos de placas para los intercambiadores SONDEX.....	75
Figura 4.51 Placa primera con junta.....	76

Figura 4.52 Placa orientación izquierda (L) con junta	76
Figura 4.53 Placa orientación derecha (R) con junta.....	76
Figura 4.54 Placa ultima con junta	76
Figura 4.55 Placa tipo "L" gran capacidad de intercambio	77
Figura 4.56 Placa tipo "K" de baja capacidad de intercambio	77
Figura 4.57 Forma correcta e incorrecta del transporte del intercambiador.....	77
Figura 4.58 Forma correcta de izar directamente el intercambiador	78
Figura 4.59 Esquema de ubicación del intercambiador.....	78
Figura 4.60 Configuraciones del flujo en el intercambiador	79
Figura 4.61 Correcto izado del equipo	80
Figura 4.62 Intercambiador de placas planas Alfa Laval M10-MBASE	81
Figura 4.63 Intercambiador de placas planas SondexA/S S20A FG16 S4TL.....	81
Figura 4.64 Intercambiador de placas planas Alfa Laval M6-MBASE	82
Figura 4.65 Enfriador de placas planas Fischer EUROCAL a-2483.....	83
Figura 4.66 Pasteurizador TETRA PAK C8-sr	83
Figura 4.67 Pasteurizador Gea VT20CDL C10.....	84
Figura 4.68 Deshumidificador de aire A. FACCINI & CIA AH 2011	85
Figura 5.1 Dimensiones del banco de hielo 1.....	95
Figura 5.2 Dimensiones del banco de hielo 2.....	97
Figura 5.3 Dimensiones del banco de hielo 3.....	100
Figura 5.4 Chiller.....	102
Figura 5.5 Tuberías de agua con aislamiento de lana mineral.....	104
Figura 5.6 Vista previa de tubería con y sin aislamiento.....	105

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1	86
Ecuación 2	86
Ecuación 3	86
Ecuación 4	87
Ecuación 5	89
Ecuación 6	90
Ecuación 7	91
Ecuación 8	92
Ecuación 9	93
Ecuación 10	95
Ecuación 11	95
Ecuación 12	95
Ecuación 13	96
Ecuación 14	97
Ecuación 15	98
Ecuación 16	98
Ecuación 17	98
Ecuación 18	100
Ecuación 19	100
Ecuación 20	100
Ecuación 21	100
Ecuación 22	102

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN EN LA PLANTA PULVERIZADORA COLANTA EN PLANETA RICA CÓRDOBA

Salas Andres^a

^aPamplona University, Km 1 Via B/manga, Pamplona, Colombia

Resumen

El análisis del sistema de refrigeración en la industria Colanta S.A. es necesaria ya que la mayoría de sus procesos requieren de agua fría, la principal característica de este análisis es calcular la carga térmica que produce el sistema, contra la carga térmica que se gasta en todos los procesos que lo requieren. Principalmente se analiza cada intercambiador de calor establecido en cada proceso y después cada banco de hielo y el Chiller del sistema y poder realizar el cálculo para saber si el sistema cumple o no con los requerimientos que se demandan. Lo ideal es que la producción de carga térmica en el sistema de refrigeración sea mayor que la consumida en los procesos.

Palabras clave: Intercambiador; Transferencia; Compresor; Condensador; Refrigeración; Evaporador; Lácteos; Frío.

Abstract

The refrigeration system analysis in the Colanta industry is necessary because the most part of its processes require cold water, the main feature of this analysis is to calculate the thermic load that the system generates, against the thermic load that is spent in the processes as it is required. Firstly, it is analyzed each heat exchanger of each process, each ice bank and the Chiller of the system, so that it can be calculated and noticed whether the system accomplishes or not with the requirements. What would be ideal is that the thermic load production is higher than the thermic load consumed by the processes.

Keywords: Exchanger, Transfer; Compressor; Condenser; Refrigeration; Evaporator; Dairy; Cold.

1. INTRODUCCIÓN

La refrigeración industrial es uno de los fascinantes sistemas que el ser humano ha inventado debido a la necesidad de prolongar la vida de alimentos perecederos o simplemente para obtener algunas comodidades. La refrigeración es imprescindible hoy en día, si nos preguntáramos *¿Qué producto alimenticio*

no requiere frío? Ante tal pregunta, sería muy difícil dar una respuesta apresurada sin pensar detalladamente en este interrogante. La aplicación de esta seda en sectores como, la conservación de cárnicos, frutas, verduras, en la floricultura, en los alimentos enlatados y por supuesto en el sector de las bebidas (CALDERON CANDELA & GOMEZ DIAZ, 2010).

La industria de manejo de productos lácteos, tiene definida por condiciones predeterminadas la conservación de sus materias primas, a través de tanques de almacenamientos con doble pared (enchaquetados), entre los cuales se hace fluir agua con temperatura de entre 1 y 2°C, la que por transferencia térmica mantiene la leche almacenada en condiciones óptimas de conservación (Vega Iriarte, 2010).

La Cooperativa de lecheros de Antioquia Colanta S.A. por ser una empresa dedicada a la elaboración de productos alimenticios tales como *lácteos, cárnicos, refrescos, embutidos, vinos y cereales* de renombre en el mercado, tanto nacional como internacionalmente, debe garantizar la calidad e inocuidad de sus productos y cada falla en el proceso pone en riesgo dichos compromisos (Colanta S.A., 2014). Para cumplir con las exigencias es primordial que cada paso en el proceso cumpla con los estándares establecidos por las normas internas, nacionales e internacionales.

El sistema de refrigeración de la planta Colanta situada en la ciudad de Planeta Rica Córdoba, debe tener la capacidad de suministrar el frío en forma adecuada hacia los procesos de almacenamiento, pasterización, evaporación, secado y Tampico. El mantener el suministro de frío de forma constante, con los valores de temperaturas adecuados en todos los puntos del circuito de refrigeración, permite garantizar que el proceso no sufra modificaciones que pongan en riesgo la inocuidad y calidad del producto.

2. SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN EN LA PLANTA COLANTA S.A.

Una de las principales áreas de aplicación de la termodinámica es la refrigeración, las

máquinas que producen refrigeración se llaman refrigeradores, y los principales ciclos en los que operan se denominan ciclos de refrigeración (Cengel & Boles, 2012).

2.1 Sistema por recirculación de líquidos.

Este sistema es empleado en los bancos de hielo, donde se recircula agua a los procesos que requieren frío.

En el caso de los evaporadores con recirculación de líquido también llamado de circulación forzada el refrigerante líquido es impulsado por una bomba para enviar una cantidad mayor al evaporador, es decir se caracterizan por enviar al evaporador un flujo másico de líquido refrigerante superior al flujo de vapor que se produce en dicho evaporador, por eso también reciben el nombre de sistemas sobrealimentados. (*Ver ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.*) (Aguilo, 2000).

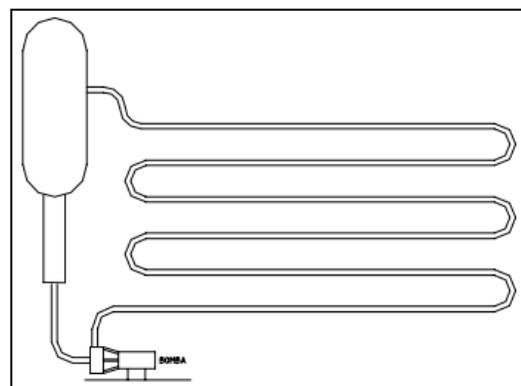


Ilustración 1 Diagrama del sistema por recirculación del líquido

2.2 Sistema con evaporador inundado.

Se destacan por entregar una cantidad considerable de líquido refrigerante al evaporador y es empleado en el Chiller.

Los evaporadores inundados trabajan con refrigerante líquido y son llenados por completo con este mismo a fin de tener humedecida toda la superficie interior del

intercambiador y, en consecuencia, la mayor razón posible de transferencia de calor.

El evaporador inundado está equipado con un acumulador o colector de vapor el que sirve, a la vez, como receptor de líquido, desde el cual el refrigerante líquido es circulado por gravedad a través de los circuitos del evaporador. Preferentemente son utilizados en aplicaciones industriales, con un número considerable de evaporadores, operando a baja temperatura y utilizando amoníaco R-717 como refrigerante (*Ver ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.*) (mwlib, 2011).

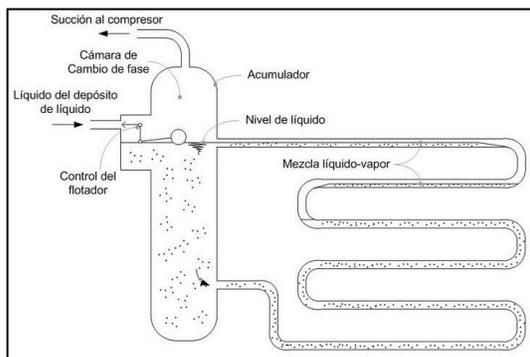


Ilustración 2 Diagrama del sistema de evaporador inundado

En la planta Colanta S.A. estos dos sistemas se complementan entre sí, tal que cuando hablamos de sistema de recirculación de líquido incorporamos todos los equipos adicionales que permiten que el sistema este inundado (Calderon Candela & Gomez Diaz, 2010).

El sistema consta de un grupo de compresores de pistón y de condensadores evaporativos conectados en paralelo, permitiendo que todos los equipos trabajen a presiones iguales tanto en la entrada como en la salida, este subsistema trabaja para el enfriamiento de agua recirculada en los depósitos llamados “Bancos de hielo”, consta también de un subsistema inundado que trabaja para el enfriador de agua

(Chiller, compresor Vilter monotornillo), por el cual se recircula agua a través de las cortinas de cobre por donde pasa el líquido refrigerante.

El sistema trabaja con amoníaco (NH_3) R-717 como líquido refrigerante, el cual se almacena en un tanque receptor o tanque de alta (alta presión), el refrigerante pasa al tanque separador de líquido o tanque de baja presión, de donde el evaporado es succionado por los compresores, mientras que el almacenado en el tanque es bombeado al enfriador o enfriadores (evaporadores). El compresor eleva la presión y la temperatura del refrigerante para luego hacerse pasar por los condensadores-evaporativos y nuevamente ser llevado al tanque receptor (*Ver ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.* y *¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.*).

El sistema en general cuenta con dos tanques receptores de líquido, uno para el subsistema de compresores de pistón y uno para el subsistema Chiller ambos con presiones aproximadas de 160 y 180 psi respectivamente.

Otras características del sistema son:

- ✓ Presión de succión compresores de pistón: 32 psi. (2,2 Bar).
- ✓ Presión de descarga compresores de pistón: 160 psi. (11 Bar).
- ✓ Presión de succión compresor de tornillo Vilter: 34 psi. (2,3 Bar).
- ✓ Presión de descarga compresor de tornillo Vilter: 180 psi. (12,4 Bar).

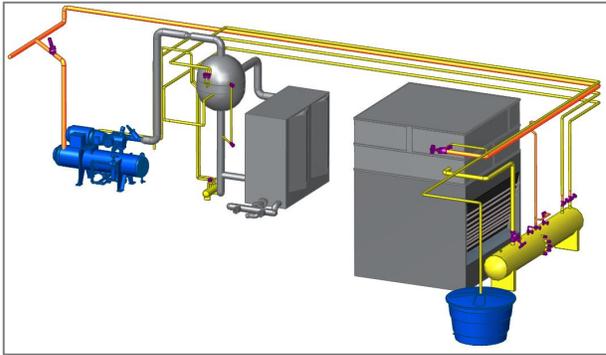


Ilustración 3 Diagrama Sistema de Refrigeración del Chiller

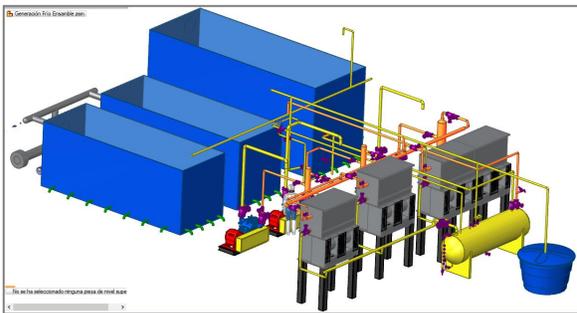


Ilustración 4 Sistema de refrigeración de los Bancos de Hielo

3. EQUIPOS QUE CONSUMEN ENERGÍA TÉRMICA “FRÍO”.

En la planta procesadora se manejan parámetros de temperatura que garanticen la inocuidad en cada uno de los puntos de procesos en la planta, por lo tanto, cuenta con equipos para intercambiar y/o introducir el frío requerido en cada punto de la línea del proceso.

La mayoría de las cargas requeridas son por intercambiadores de calor de placas (de diversas marcas) y pasteurizadores, entre otros equipos como lo son la batidora, los tanques de maduración y el ventilador deshumidificador. Estos son los diferentes equipos con consumo de “frío”:

3.1 *Enfriador de Placas Recibo Carrotanques (Isla).*

Su función es llevar a la temperatura requerida la materia prima que es transportada en los carrotanques. La leche proveniente de los carrotanques entra al intercambiador a una temperatura promedio de 7°C y este deberá ser capaz de reducir su temperatura a aproximadamente 4°C, para ser enviada a los silos de almacenamiento, en caso que haya necesidad de mantener la temperatura de almacenamiento en los silos, se recircula la leche a través del intercambiador para conservar el “frío” requerido (Ver Figura 4.62).



Ilustración 5 Intercambiador de placas planas Alfa Laval M10-MBASE

➤ **Características.**

- ✓ Marca: Alfa Laval.
- ✓ Modelo: M10-MBASE.
- ✓ Año: 2013
- ✓ Capacidad de flujo del agua: 30000 L/h.
- ✓ Capacidad de flujo de la leche: 20000 L/h.
- ✓ Temperatura entrada agua fría: 1°C.
- ✓ Temperatura entrada leche cruda: 8°C.
- ✓ Temperatura salida leche cruda: 4°C.

3.2 *Enfriador de placas para crema cruda.*

La crema que es separada en la etapa de clarificación y estandarización, es impulsada a este enfriador para llevarla a una temperatura requerida y ser almacenada en

los tanques de maduración (Ver Figura 4.63).



Ilustración 6 Intercambiador de placas planas Sondex A/S S20A FG16 S4TL

➤ **Características.**

- ✓ Marca: Sondex A/S.
- ✓ Modelo: S20A FG16 S4TL.
- ✓ Capacidad de flujo del agua: 22572 L/h.
- ✓ Capacidad de flujo de la leche: 1800 L/h.
- ✓ Temperatura de agua fría: 1°C.
- ✓ Temperatura entrada crema cruda: 30°C.
- ✓ Temperatura salida crema cruda: 8°C.

3.3 Enfriador de placas de leche cruda en recibo de leche.

Luego de ser pesada la leche, es descargada al tanque receptor donde es sometida a un filtrado en una malla donde se recogen las partículas de mayor tamaño. La leche que llega a una temperatura aproximadamente de 30°C es enfriada hasta llegar a una temperatura por debajo de 4°C (Ver Figura 4.64).

➤ **Características.**

- ✓ Marca: Alfa Laval.
- ✓ Modelo: M10-MBASE.
- ✓ Capacidad de flujo del agua: 28000 L/h

- ✓ Capacidad de flujo de la leche: 22000 L/h
- ✓ Temperatura entrada de leche cruda: 30°C.
- ✓ Temperatura de salida leche cruda: 4°C.



Ilustración 7 Intercambiador de placas planas Alfa Laval M6-MBASE

3.4 Enfriador de placas para suero.

Paralelo a la producción de mantequilla se produce suero como subproducto del proceso (Ver Figura 4.65).



Ilustración 8 Enfriador de placas planas Fischer EUROCAL a-2483

➤ **Características.**

- ✓ Marca: Fischer.
- ✓ Modelo: Eurocal a-2483.

- ✓ Capacidad de flujo del agua: 18000 L/h.
- ✓ Capacidad de flujo de la leche: 1800 L/h.
- ✓ Temperatura de entrada producto: 13°C
- ✓ Temperatura de salida producto: 6°C.

3.5 *Pasteurizador de la sala de pasteurización.*

En el proceso de pasteurización se somete la leche cruda a temperatura de 73 a 76°C por un tiempo determinado de 15±1 segundo y luego es enfriado hasta llegar a una temperatura de 2°C±4°C, con este choque térmico se logra eliminar agentes patógenos en el producto final (Ver Figura 4.66).



Ilustración 9 Pasteurizador TETRA PAK C8-sr

- **Características.**
- ✓ Marca: Tetra pak.
- ✓ Modelo: C8-sr.
- ✓ Capacidad de flujo del agua: 25200 L/h.
- ✓ Capacidad de flujo de la leche: 10000 L/h.
- ✓ Temperatura de entrada de pasteurización: 74,5°C.
- ✓ Temperatura de salida de pasteurización: 5°C.
- ✓ Tiempo: 15 segundos.

3.6 *Pasteurizador de crema.*

La crema de leche cruda y fría se pasteuriza para garantizar la destrucción total de los microorganismos patógenos presentes, y se envía la crema pasteurizada a los tanques de almacenamiento a una baja temperatura (Ver Figura 4.67).



Ilustración 10 Pasteurizador Gea VT20CDL C10

- **Características.**
- ✓ Marca: Gea
- ✓ Modelo: VT 20 CDL C10.
- ✓ Capacidad de flujo del agua: 25000 L/h.
- ✓ Capacidad de flujo de la leche: 1800 L/h.
- ✓ Temperatura de entrada de pasteurización: 93,5°C.
- ✓ Temperatura de salida de pasteurización: 6°C.

3.7 *Deshumidificador de aire.*

El secado de leche se desarrolla en un vibrofluidizador al cual entra aire filtrado deshumificado, éste es aire inyectado a través de un ventilador deshumidificador, el cual posee un filtro y un sistema de secado de aire por medio del flujo de agua fría.

El deshumidificador es un aparato para la extracción de humedad, en este caso del aire, su principio de funcionamiento es por condensación. El aire húmedo es aspirado, filtrado y se hace pasar a través de un evaporador (en este caso, el evaporador es un serpentín por donde circula agua fría),

donde se enfría por debajo de su temperatura de rocío, de esta forma la humedad contenida en el aire es condensada y almacenada, en forma de agua en la bandeja de condensación de donde es evacuada a la tubería de desagüe (Ver Figura 4.68).



Ilustración 11 Deshumidificador de aire A. FACCINI & CIA AH 2011

➤ **Características.**

- ✓ Marca: A. Faccini & Cia.
- ✓ Modelo: AH 2011.
- ✓ Capacidad de flujo del agua: 23000 L/h.
- ✓ Capacidad de flujo del aire: 3303 L/h.
- ✓ Velocidad: 1870 rpm.
- ✓ N° Serie: 4900.
- ✓ Temperatura de salida del aire: 3°C.
- ✓ Temperatura de entrada del aire: 38°C.

4. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

4.1 Especificación de los requerimientos del sistema de enfriamiento

Concierne al cálculo de cargas térmicas transitorias de los 7 equipos en los diferentes procesos que se llevan a cabo y los subsistemas que intervienen en el buen funcionamiento del sistema en la planta.

- *Enfriador de Placas Recibo Carrotanques (Isla).*
- *Enfriador de placas para crema cruda.*
- *Enfriador de placas de leche cruda en recibo de leche.*
- *Enfriador de placas para suero.*
- *Pasteurizador de la sala de pasterización.*
- *Pasteurizador de crema.*
- *Deshumidificador de aire.*

Para el estudio de las cargas de refrigeración requeridas por la planta debido a los diferentes procesos que se llevan a cabo, se hará un seguimiento y una serie de consideraciones, discriminando uno a uno los procesos y las actividades que influyan en una u otra forma sobre las cargas térmicas generadas.

Para el cálculo de las cargas térmicas en los enfriadores (*Intercambiadores de calor de placas*), se hizo uso del método de aforo para la medición del caudal o flujo volumétrico y para medir la temperatura se usó un termómetro digital laser; el cálculo del caudal se realiza de esta forma debido a que la empresa no cuenta con caudalímetros para dicha medición.

Ecuación 1

$$\dot{Q}_T = \dot{Q}_1 + \dot{Q}_2 + \dot{Q}_3 + \dot{Q}_4 + \dot{Q}_5 + \dot{Q}_6 + \dot{Q}_7 + \dot{Q}_8$$

Ecuación 2

$$T_{AF7} = T_{AF1} + T_{AF2} + T_{AF3} + T_{AF4} + T_{AF5} + T_{AF6} + T_{AF7} + T_{AF8}$$

Ecuación 3

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= \rho_A * \dot{v}_A * C_{pA} * (T_{AF} - T_{A0}) \\ &= \rho_L * \dot{v}_L * C_{pL} * (T_{LF} - T_{L0}) [Kw] \end{aligned}$$

\dot{Q} = Carga Térmica del enfriador de placas de recibo de carrotanques. [Kw]

ρ_A = Densidad del agua fría con la que se va a enfriar el producto. $\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$

\dot{v}_A = Flujo volumétrico del agua fría. $\left[\frac{m^3}{seg}\right]$

C_{pA} = Calor específico del agua. $\left[\frac{KJ}{Kg * ^\circ C}\right]$

T_{AF} = Temperatura de salida del agua. $[^\circ C]$

T_{A0} = Temperatura de entrada del agua. $[^\circ C]$

ρ_L = Densidad de la leche. $\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$

\dot{v}_L = Flujo volumétrico de la leche. $\left[\frac{m^3}{seg}\right]$

4.2 Carga térmica en el enfriador de placas de recibo de carrotanques (Isla).

Partimos del flujo másico y otras propiedades termodinámicas de los dos fluidos del y las correspondientes temperaturas de entrada y salida del enfriador. La ecuación a utilizar es la siguiente:

$$\dot{Q}_1 = ?$$

$$\rho_A = 999,89 \text{ Kg}/m^3$$

$$\dot{v}_A = 0,0083 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$C_{pA} = 4,213 \text{ KJ}/\text{Kg}^\circ\text{C}$$

$$T_{AF1} = ?$$

$$T_{A0} = 1^\circ\text{C}$$

$$\rho_L = 1033,5 \text{ Kg}/m^3$$

$$\dot{v}_L = 0,0055 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$C_{pL} = 3,882 \text{ KJ}/\text{Kg}^\circ\text{C}$$

$$T_{LF} = 4^\circ\text{C}$$

$$T_{L0} = 8^\circ\text{C}$$

El promedio de temperaturas nos permite hallar por tablas los valores correspondientes al calor específico y la densidad del fluido.

(Tablas 3.4.3 y 3.10.9 del libro referenciado a continuación (Hayes, 1992)):

Aplicando la Ecuación 10 en el Enfriador de Placas Recibo Carrotanques (Isla):

$$\dot{Q}_1 = \rho_L * \dot{v}_L * C_{pL} * (T_{LF} - T_{L0}) \text{ [Kw]}$$

$$\dot{Q}_1 = 1033,5 \text{ Kg}/m^3 * 0,0055 \text{ m}^3/\text{seg} * 3,882 \text{ KJ}/\text{Kg}^\circ\text{C} * (4^\circ\text{C} - 8^\circ\text{C})$$

$$\dot{Q}_1 = - 88,2650 \text{ Kw}$$

El signo negativo dicta el rechazo de calor del proceso.

$$\boxed{\dot{Q}_1 = 25,1 \text{ TR}}$$

$$T_{AF1} = \frac{\dot{Q}_1}{\rho_A * \dot{v}_A * C_{pA}} + T_{A0}$$

T_{AF1}

$$= \frac{88,2650 \text{ KJ}/\text{seg}}{999,89 \text{ Kg}/m^3 * 0,0083 \text{ m}^3/\text{seg} * 4,213 \text{ KJ}/\text{Kg}^\circ\text{C}} + 1^\circ\text{C}$$

$$\boxed{T_{AF1} = 3,52^\circ\text{C}}$$

4.3 Carga térmica en el enfriador de placas para crema cruda.

$$\dot{Q}_2 = ?$$

$$\rho_A = 999,89 \text{ Kg}/m^3$$

$$\dot{v}_A = 0,0063 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$C_{pA} = 4,213 \text{ KJ}/\text{Kg}^\circ\text{C}$$

$$T_{AF2} = ?$$

$$T_{A0} = 1^\circ\text{C}$$

$$\rho_L = 1030,25 \text{ Kg}/m^3$$

$$\dot{v}_L = 0,0005 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$C_{pL} = 3,9218 \text{ KJ}/\text{Kg}^\circ\text{C}$$

$$T_{LF} = 8^\circ\text{C}$$

$$T_{L0} = 30^\circ\text{C}$$

$$\dot{Q}_2 = - 44,44 \text{ Kw}$$

El signo negativo dicta el rechazo de calor del proceso.

$$\boxed{\dot{Q}_2 = 12,64 \text{ TR}}$$

$$\boxed{T_{AF2} = 2,67^\circ\text{C}}$$

4.4 Carga térmica en el enfriador de placas de leche cruda en recibo de leche.

$$\begin{aligned} \dot{Q}_3 &=? \\ \rho_A &= 999,89 \text{ Kg/m}^3 \\ \dot{v}_A &= 0,0078 \text{ m}^3/\text{seg} \\ C_{pA} &= 4,213 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C} \\ T_{AF3} &=? \\ T_{A0} &= 1^\circ\text{C} \\ \rho_L &= 1030,75 \text{ Kg/m}^3 \\ \dot{v}_L &= 0.0061 \text{ m}^3/\text{seg} \\ C_{pL} &= 3,9243 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C} \\ T_{LF} &= 4^\circ\text{C} \\ T_{L0} &= 30^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$\dot{Q}_3 = -641,53 \text{ Kw}$
El signo negativo dicta el rechazo de calor del proceso.

$$\boxed{\dot{Q}_3 = 182,42 \text{ TR}}$$

$$\boxed{T_{AF3} = 6,55^\circ\text{C}}$$

4.5 Carga térmica en el Enfriador de placas para suero.

$$\begin{aligned} \dot{Q}_4 &=? \\ \rho_A &= 999,89 \text{ Kg/m}^3 \\ \dot{v}_A &= 0.005 \text{ m}^3/\text{seg} \\ C_{pA} &= 4,213 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C} \\ T_{AF4} &=? \\ T_{A0} &= 1^\circ\text{C} \\ \rho_L &= 1032,625 \text{ Kg/m}^3 \\ \dot{v}_L &= 0.0005 \text{ m}^3/\text{seg} \\ C_{pL} &= 3,8996 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C} \\ T_{LF} &= 6^\circ\text{C} \\ T_{L0} &= 13^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$\dot{Q}_4 = -14,09 \text{ Kw}$
El signo negativo dicta el rechazo de calor del proceso.

$$\boxed{\dot{Q}_4 = 4 \text{ TR}}$$

$$\boxed{T_{AF4} = 1,67^\circ\text{C}}$$

4.6 Carga térmica en el Pasteurizador de la sala de pasterización.

$$\begin{aligned} \dot{Q}_5 &=? \\ \rho_A &= 999,89 \text{ Kg/m}^3 \\ \dot{v}_A &= 0.00625 \text{ m}^3/\text{seg} \\ C_{pA} &= 4,213 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C} \\ T_{AF5} &=? \\ T_{A0} &= 1^\circ\text{C} \\ \rho_L &= 1022,89 \text{ Kg/m}^3 \\ \dot{v}_L &= 0.0028 \text{ m}^3/\text{seg} \\ C_{pL} &= 3,8941 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C} \\ T_{LF} &= 5^\circ\text{C} \\ T_{L0} &= 74,5^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$\dot{Q}_5 = -775,14 \text{ Kw}$
El signo negativo dicta el rechazo de calor del proceso.

$$\boxed{\dot{Q}_5 = 220,41 \text{ TR}}$$

$$\boxed{T_{AF5} = 30,45^\circ\text{C}}$$

4.7 Carga térmica en el Pasteurizador de crema.

$$\begin{aligned} \dot{Q}_6 &=? \\ \rho_A &= 999,89 \text{ Kg/m}^3 \\ \dot{v}_A &= 0.0070 \text{ m}^3/\text{seg} \\ C_{pA} &= 4,213 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C} \\ T_{AF6} &=? \\ T_{A0} &= 1^\circ\text{C} \\ \rho_L &= 1019,29 \text{ Kg/m}^3 \\ \dot{v}_L &= 0.0005 \text{ m}^3/\text{seg} \\ C_{pL} &= 3,8816 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C} \\ T_{LF} &= 6^\circ\text{C} \\ T_{L0} &= 93,5^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$\dot{Q}_6 = -173,096 \text{ Kw}$
El signo negativo dicta el rechazo de calor del proceso.

$$\boxed{\dot{Q}_6 = 49,22 \text{ TR}}$$

$$\boxed{T_{AF6} = 7^\circ\text{C}}$$

4.8 Carga térmica en el deshumidificador de aire.

$$\dot{Q}_7 = ?$$

$$\rho_A = 999,89 \text{ Kg/m}^3$$

$$\dot{v}_A = 0,0064 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$C_{pA} = 4,213 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}$$

$$T_{AF7} = ?$$

$$T_{A0} = 1^\circ\text{C}$$

$$\rho_a = 1029,46 \text{ Kg/m}^3$$

$$\dot{v}_a = 0,0009 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$C_{pa} = 3,9184 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}$$

$$T_{aF} = 3^\circ\text{C}$$

$$T_{a0} = 38^\circ\text{C}$$

$$\dot{Q}_7 = -127,065 \text{ Kw}$$

El signo negativo dicta el rechazo de calor del proceso.

$$\dot{Q}_7 = 36,13 \text{ TR}$$

$$T_{AF7} = 34,52^\circ\text{C}$$

4.9 Carga térmica total consumida por los equipos de refrigeración es:

El signo negativo dicta el rechazo total de calor de todos los procesos.

$$\dot{Q}_T = -1863,626 \text{ Kw}$$

$$\dot{Q}_{Tc} = 530 \text{ TR}$$

4.10 Promedio de temperatura con la que retorna el agua:

$$T_{AF7} = 12,34^\circ\text{C}$$

5. CAPACIDAD DE CARGA TÉRMICA DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE FRÍO.

Para el cálculo de la carga térmica en estado estable con la que cuenta el sistema de

generación de frío, debemos evaluar los tres bancos hielo y el chiller.

5.1 Transferencia total de calor Banco 1.

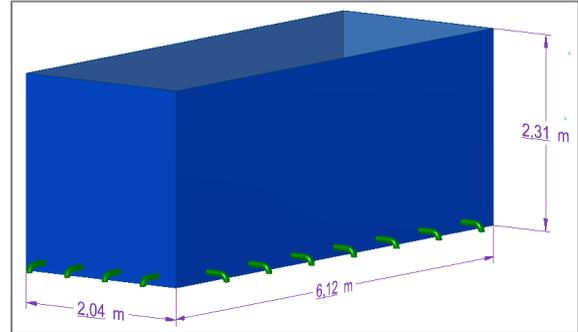


Ilustración 12 Dimensiones del banco de hielo 1.

Ecuación 4

$$Q_1 = \Delta U = m * C_p * (T_2 - T_1)$$

$$Q_1 = \Delta U = \rho * v_T * C_p * (T_2 - T_1)$$

Ecuación 5

$$v_T = v_B - v_s - v_{Pl}$$

Ecuación 6

$$v_s = [h * \pi * (R^2 - r^2)](n)$$

Ecuación 7

$$\dot{Q}_{prom} = \frac{Q_1}{\Delta t}$$

$Q_1 =$ Transferencia total de calor en el banco 1. [KJ]

$\Delta U =$ Aumento de la energía en el sistema. [KJ]

$\rho =$ Densidad del agua a la

temperatura promedio en el sistema. $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right]$

$v_T =$ Volumen total de agua en el sistema. $[\text{m}^3]$

$v_B =$ Volumen del sistema. $[\text{m}^3]$

$v_s =$ Volumen que ocupa el serpentín en el sistema. $[\text{m}^3]$

$v_{Pl} =$ Volumen que ocupa la placa que sostiene el serpentín. $[\text{m}^3]$

$h =$ Longitud de un tubo del serpentín en el sistema. [m]

$R =$ Radio exterior del tubo. [m]

$r =$ Radio interior del tubo. [m]

$n =$ numero de tubos del serpentín en el sistema.

$\dot{Q}_{prom} =$ Carga térmica del sistema por unidad de tiempo [Kw] ó [TR]

$\Delta t =$ Intervalo de tiempo transcurrido [seg]

$$\rho = 999,5392 \text{ Kg/m}^3$$

$$T_1 = 0^\circ\text{C}$$

$$T_2 = T_{AFT} = 12,34^\circ\text{C}$$

$$h = 6 \text{ m}$$

$$R = 0,0159 \text{ m}$$

$$r = 0,0108 \text{ m}$$

$$n = 144$$

$$\Delta t = 3600 \text{ seg}$$

$$v_B = 2,31\text{m} * 6,12\text{m} * 2,04\text{m}$$

(Ver Figura 5.1)

$$v_B = 28,84\text{m}^3$$

Hallamos el volumen que ocupa el serpentín en el sistema con la Ecuación 19.

$$v_s = [6 * \pi * (0,0159^2 - 0,0108^2)](144)$$

$$v_s = 0,3696\text{m}^3$$

$$v_{Pl} = 2,31\text{m} * 2,04\text{m} * 0,00635\text{m}$$

$$v_{Pl} = 0,03\text{m}^3$$

Con la Ecuación 18 hallamos el volumen de agua en el sistema.

$$v_T = 28,84\text{m}^3 - 0,3696\text{m}^3 - 0,03\text{m}^3$$

$$v_T = 28,44\text{m}^3$$

Determinamos la transferencia total de calor en el banco 1 con la Ecuación 17.

$$Q_1 = 999,5392 \text{ Kg/m}^3 * 28,44\text{m}^3 * 4,18866 \text{ KJ/Kg } ^\circ\text{C} * (12,34^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C})$$

$$Q_1 = 1'469.351,84\text{KJ}$$

En este paso hallamos con la Ecuación 20 la carga térmica con la que cuenta el banco 1.

$$\dot{Q}_{prom} = \frac{1'469.351,84\text{KJ}}{3600\text{seg}}$$

$$\dot{Q}_{prom} = 408,15\text{Kw}$$

Toneladas de refrigeración que contiene el banco 1.

$$\dot{Q}_{prom} = 116,056\text{TR}$$

5.2 Transferencia total de calor Banco 2.

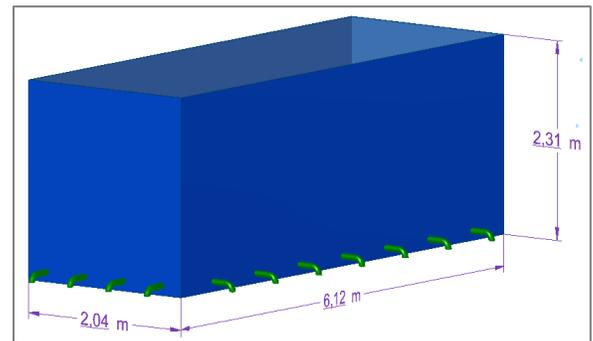


Ilustración 13 Dimensiones del banco de hielo 2.

$$\rho = 999,5392 \text{ Kg/m}^3$$

$$T_1 = 0^\circ\text{C}$$

$$T_2 = T_{AFT} = 12,34^\circ\text{C}$$

$$h = 6 \text{ m}$$

$$R = 0,0159 \text{ m}$$

$$r = 0,0108 \text{ m}$$

$$n = 144$$

$$\Delta t = 3600 \text{ seg}$$

$$v_B = 28,84\text{m}^3$$

$$v_s = 0,3696\text{m}^3$$

$$v_{Pl} = 0,03\text{m}^3$$

$$v_T = 28,44\text{m}^3$$

$$\dot{Q}_{prom} = 408,15Kw$$

$$\dot{Q}_{prom} = 116,056TR$$

5.3 Transferencia total de calor Banco 3.

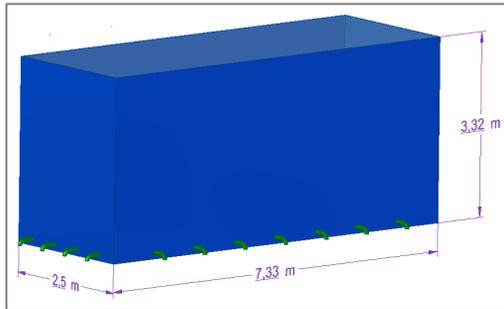


Ilustración 14 Dimensiones del banco de hielo 3.

$$\rho = 999,5392 Kg/m^3$$

$$T_1 = 0^\circ C$$

$$T_2 = T_{AF7} = 12,34^\circ C$$

$$h = 7 m$$

$$R = 0,0159 m$$

$$r = 0,0108 m$$

$$n = 238$$

$$\Delta t = 3600 seg$$

$$v_B = 60,84m^3$$

$$v_s = 0,7127m^3$$

$$v_{Pl} = 0,053m^3$$

$$v_T = 60,0743m^3$$

$$\dot{Q}_{prom} = 862,14Kw$$

$$\dot{Q}_{prom} = 245,14TR$$

5.4 Carga térmica en el Chiller.

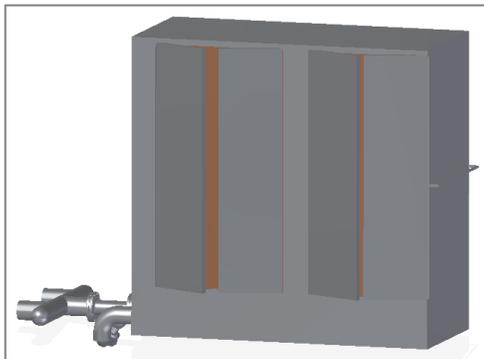


Ilustración 15 Chiller

$$\dot{Q}_{chi} = ?$$

$$\rho_A = 999,5392 Kg/m^3$$

$$\dot{v}_A = 0,0125 m^3/seg$$

$$C_{pA} = 4,18866 KJ/Kg^\circ C$$

$$T_{AF7} = 15,5^\circ C$$

$$T_{A0} = 0^\circ C$$

$$\dot{Q}_{chi} = - 811,18 Kw$$

$$\dot{Q}_{chi} = 230,65 TR$$

5.5 La carga térmica generada por el sistema de generación de frío en toneladas de refrigeración es:

$$\dot{Q}_T = 116,056TR + 116,056TR$$

$$+ 245,14TR$$

$$+ 230,65 TR[TR]$$

$$\dot{Q}_{Tp} = 707,902 TR$$

6. DELIBERACIÓN DE LAS CARGAS TÉRMICAS OBTENIDAS.

Es primordial hacer la relación de las toneladas consumidas contra las toneladas producidas, esto nos mostrara si el sistema está cumpliendo con la demanda de frío que actualmente tiene la planta.

Observamos que las toneladas de refrigeración que el sistema consume en un día soleado ($2 \pm 36^\circ C$) es de

$$\dot{Q}_{Tc} = 530 TR$$

mientras que las producidas son

$$\dot{Q}_{Tp} = 707,902 TR$$

7. CONCLUSIONES.

En el análisis que se realizó se describió el sistema global de refrigeración de la planta pulverizadora Colanta S.A. ubicada en la ciudad de Planeta Rica Córdoba, del cual se especifican:

- Los procesos que se realizan en la planta que necesitan del sistema de refrigeración.
- El tipo de configuración del sistema de refrigeración.

Por otra parte, se detallaron los equipos que consumen frío y se determinó la capacidad del sistema, después de realizar la comparación de los valores obtenidos, concluimos que el sistema cuenta con una capacidad apropiada para satisfacer la necesidad de frío en los procesos. Pero no tendría la capacidad de satisfacer la demanda o carga térmica si en la empresa se empieza a procesar un nuevo producto

8. AGRADECIMIENTOS.

Al ingeniero Edison Martínez Oviedo, quien es el director de este proyecto de grado, por su colaboración incondicional y su significativo aporte académico y profesional durante mi carrera universitaria.

A la Ingeniera y gerente Yolima Agamez, al Ingeniero Hernán Payares y al personal técnico del área de mantenimiento de la Pulverizadora Colanta S.A. de Planeta Rica Córdoba por su colaboración y confianza durante la realización de este trabajo.

A mis familiares y amigos por acompañarme en todo momento, confiar en mí y motivarme a mejorar como persona y profesional.

9. REFERENCIAS

mwlib. (2011). SISTEMA DE REFRIGERACION POR COMPRESION. En Anonimo, *SISTEMA DE REFRIGERACION POR COMPRESION* (pág. 3). kit de

herramientas de fuente abierta mwlib.

Aguilo, R. (2000). COMPARACION ENTRE SISTEMAS DE REFRIGERACION VENTAJAS, DESVENTAJAS, E IMPACTO AMBIENTAL. *Mercofrio*, 1-9.

ALFA LAVAL. (2008). Manual de Instrucciones Intercambiadores de calor de placas. En A. LAVAL, *Manual de Instrucciones Intercambiadores de calor de placas* (págs. 1-24). Estados Unidos.

Baltimore Aircoil Company. (2016). OPERATION & MAINTENANCE MANUAL. *Baltimore Aircoil Company*, 44.

BUITRAGO ARENAS, J. G. (2012). *ANÁLISIS OPERATIVO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL FRIGORÍFICO METROPOLITANO BUCARAMANGA.*

Calderon Candela, J. Y., & Gomez Diaz, R. L. (2010). *ANALISIS Y ESTUDIO DEL SISTEMA DE REFRIGERACION IMPLEMENTADO EN LA CERVECERIA BAVARIA S.A. DE BUCARAMANGA CON EL FIN DE PROPONER UNA MEJORA EN EL CONSUMO ENERGETICO.* Bucaramanga.

CALDERON CANDELA, J. Y., & GOMEZ DIAZ, R. L. (2010). *ANALISIS Y ESTUDIO DEL SISTEMA DE REFRIGERACION IMPLEMENTADO EN LA CERVECERIA BAVARIA S.A. DE*

- BUCARAMANGA CON EL FIN DE PROPONER UNA MEJORA EN EL CONSUMO ENERGETICO. En J. Y. CALDERON CANDELA, & R. L. GOMEZ DIAZ, *ANALISIS Y ESTUDIO DEL SISTEMA DE REFRIGERACION IMPLEMENTADO EN LA CERVECERIA BAVARIA S.A. DE BUCARAMANGA CON EL FIN DE PROPONER UNA MEJORA EN EL CONSUMO ENERGETICO* (pág. 24). Bucaramanga.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2012). Termodinámica. En Y. A. Cengel, & M. A. Boles, *Termodinámica* (pág. 615). Mexico: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2012). Termodinámica. En Y. A. Cengel, & M. A. Boles, *Termodinámica* (pág. 644). Mexico: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2012). Termodinámica. En Y. A. Cengel, & M. A. Boles, *Termodinámica* (págs. 647-649). Mexico: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Colanta S.A. (28 de Julio de 2014). *Colanta*. Obtenido de <http://www.colanta.com.co/productos/>
- CREPACO INDUSTRIES. (2014). *Reciprocating Compressor Maintenance Manual*. OMAHA, NEBRASKA.
- Cvaxa software. (25 de Mayo de 2016). *Calor Especifico del agua liquida 0-100°*. Obtenido de Cvaxa software: www.vaxasoftware.com
- Cvaxa software. (24 de Mayo de 2016). *Densidad del agua liquida 0-100°C*. Obtenido de vaxa software: www.vaxasoftware.com
- EcuRed. (12 de Noviembre de 2004). *EcuRed Conocimiento con todos y para todos*. Obtenido de https://www.ecured.cu/V%C3%A1lvula_de_seguridad
- EcuRed. (junio de 2015). *conocimiento con todos y para todos*. Obtenido de http://www.ecured.cu/index.php/Dise%C3%B1o_asistido_por_computadora
- EMERSON CLIMATE TECHNOLOGIES. (2015). *VSS/VSM compressor unit Installation, operation & maintenance manual*. Cudahy: Vilter.
- Equipos y Laboratorio de Colombia. (26 de Enero de 2012). Obtenido de http://www.equiposylaboratorio.com/sitio/contenidos_mo.php?it=2926
- Evapco. (2011). *Evaporative Condensers . Advanced Technology for the Future, Available Today*, 28.
- Fernandez, J. F. (2009). CICLO BRAYTON, TURBINAS A GAS. En J. F. Fernandez, *CICLO BRAYTON, TURBINAS A GAS* (págs. 9-10). Buenos Aires: Editorial Universitaria de la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL U.T.N. - Argentina.

- GRABCAD. (Agosto de 2013). *COMMUNITY*. Obtenido de https://grabcad.com/library/static-mixer-statomix_ms-08-32-1
- Hadaegh, Z. B. (2016). Nitrate and nitrite content of vegetables, fruits, grains, legumes, dairy products, meats and processed meats. Iran: No. 24, Shahid-Erabi St, Yemen St, Chamran Exp, Tehran, Iran. 19395-4763 .
- Hayes, G. D. (1992). Manual de datos para ingeniería de los alimentos. En G. D. Hayes, *Manual de datos para ingeniería de los alimentos* (págs. 76, 98). Zaragoza: ACRIBIA, S.A.
- mwlib. (2011). SISTEMA DE REFRIGERACION POR COMPRESION. En Anonimo, *SISTEMA DE REFRIGERACION POR COMPRESION* (pág. 44). kit de herramientas de fuente abierta mwlib.
- PACHANO A. , L., & PEREZ R. , F. (2006). *valvulas de control*. TACHIRA: UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DEL TACHIRA.
- SC Fluids. (9 de Septiembre de 2008). *SC Fluids*. Obtenido de http://www.valvulasymedidores.com/valvulas_globo_de_globo.html
- SC Fluids. (5 de Septiembre de 2009). *SC Fluids*. Obtenido de http://www.valvulasymedidores.com/valvulas_check.html
- SC Fluids. (5 de Septiembre de 2009). *SC Fluids*. Obtenido de http://www.valvulasymedidores.com/valvulas_de_compuerta.html
- SC Fluids. (2 de Septiembre de 2010). *SC Fluids*. Obtenido de http://www.valvulasymedidores.com/valvulas_de_cuchilla.html
- SONDEX HOLDING. (2013). *Manual de servicio y mantenimiento Intercambiadores de placas Sondex*. Estados Unidos: SONDEX HOLDING.
- swep. (2015). MANUAL DE INSTRUCCIONES PARA INTERCAMBIADORES DE CALOR DE PLACAS SOLDADAS. En swep, *MANUAL DE INSTRUCCIONES PARA INTERCAMBIADORES DE CALOR DE PLACAS SOLDADAS* (págs. 1-4). Estados Unidos: dover company.
- Valvias. (20 de Febrero de 2008). *Valvias*. Obtenido de <http://www.valvias.com/tipo-valvula-de-bola.php>
- Vega Iriarte, L. A. (2010). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EQUIPO DE REFRIGERACIÓN DE LECHE CRUDA EN SITIO DE PRODUCCIÓN. En L. A. Vega Iriarte, *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EQUIPO DE REFRIGERACIÓN DE LECHE CRUDA EN SITIO DE PRODUCCIÓN* (pág. 11). Florencia.

1 INTRODUCCIÓN

La refrigeración industrial es uno de los fascinantes sistemas que el ser humano ha inventado debido a la necesidad de prolongar la vida de alimentos perecederos o simplemente para obtener algunas comodidades. La refrigeración es imprescindible hoy en día, si nos preguntáramos *¿Qué producto alimenticio no requiere frío?* Ante tal pregunta, sería muy difícil dar una respuesta apresurada sin pensar detalladamente en este interrogante. La aplicación de esta seda en sectores como, la conservación de cárnicos, frutas, verduras, en la floricultura, en los alimentos enlatados y por supuesto en el sector de las bebidas (CALDERON CANDELA & GOMEZ DIAZ, 2010).

La industria de manejo de productos lácteos, tiene definida por condiciones predeterminadas la conservación de sus materias primas, a través de tanques de almacenamientos con doble pared (enchquetados), entre los cuales se hace fluir agua con temperatura de entre 1 y 2°C, la que por transferencia térmica mantiene la leche almacenada en condiciones óptimas de conservación (Vega Iriarte, 2010).

La Cooperativa de lecheros de Antioquia Colanta S.A. por ser una empresa dedicada a la elaboración de productos alimenticios tales como *lácteos, cárnicos, refrescos, embutidos, vinos y cereales* de renombre en el mercado, tanto nacional como internacionalmente, debe garantizar la calidad e inocuidad de sus productos y cada falla en el proceso pone en riesgo dichos compromisos (Colanta S.A., 2014). Para cumplir con las exigencias es primordial que cada paso en el proceso cumpla con los estándares establecidos por las normas internas, nacionales e internacionales.

El sistema de refrigeración de la planta Colanta situada en la ciudad de Planeta Rica Córdoba, debe tener la capacidad de suministrar el frío en forma adecuada hacia los procesos de almacenamiento, pasterización, evaporación, secado y Tampico. El mantener el suministro de frío de forma constante, con los valores de temperaturas adecuados en todos los puntos del circuito de refrigeración, permite garantizar que el proceso no sufra modificaciones que pongan en riesgo la inocuidad y calidad del producto.

2 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad algunas de las principales fuentes alimenticias son; *lácteos, cárnicos, refrescos, embutidos y cereales* (Hadaegh, 2016), es por esto que la industria Colanta S.A. ha dirigido su enfoque hacia estas fuentes alimenticias, innovando tecnológicamente cada día para hallar nuevas formas al mejoramiento de sus productos, encontrando formas de procesarlos para aprovechar todas las propiedades que tienen éstas fuentes alimenticias y tratando de disminuir las “impurezas” que se encuentran en ellas para darle al consumidor productos excelentes.

Una de las áreas más importantes para la producción de estos productos es el área de generación de “Frío” (*Disipación de Energía Calorífica*), en donde es indispensable garantizar el descenso de la temperatura en los diferentes procesos.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar el sistema de refrigeración en la planta pulverizadora Colanta en Planeta Rica Córdoba.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Estudiar y conocer el estado del arte en el tema del trabajo.
- Detallar los diferentes procesos que se realizan en la planta que requieren consumo de frío.
- Especificar el tipo de sistema de enfriamiento.
- Describir el funcionamiento del sistema de generación de frío.
- Establecer cuáles son los equipos que consumen frío y determinar la carga térmica consumida.
- Determinar la capacidad de operación y generación de frío del actual sistema de enfriamiento de agua, constituido por los bancos de hielo y el enfriador de agua “Chiller” (Contiene tuberías, bombas y accesorios).
- Comparar la carga térmica consumida vs. La carga térmica que puede generar el sistema de enfriamiento.
- Socializar los resultados obtenidos y redactar el documento final.

4 SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN Y PROCESOS EN LA PLANTA COLANTA

Una de las principales áreas de aplicación de la termodinámica es la refrigeración, las máquinas que producen refrigeración se llaman refrigeradores, y los principales ciclos en los que operan se denominan ciclos de refrigeración (Cengel & Boles, 2012).

4.1 CICLOS DE REFRIGERACION.

Los ciclos de refrigeración que se utilizan con más frecuencia en la industria son:

4.1.1 Sistema Por Compresión De Vapor.

El refrigerante se evapora y se condensa alternadamente, para luego comprimirse en la fase de vapor.

La refrigeración por compresión desplaza la energía térmica entre dos focos; creando zonas de alta y baja presión confinadas en intercambiadores de calor, mientras estos procesos de intercambio de energía se suceden cuando el fluido refrigerante se encuentra en procesos de cambio de estado; de líquido a vapor, y viceversa. El proceso de refrigeración por compresión se logra evaporando un gas refrigerante en estado líquido a través de un dispositivo de expansión dentro de un intercambiador de calor, denominado evaporador (Ver Figura 4.1) (mwlib, 2011).

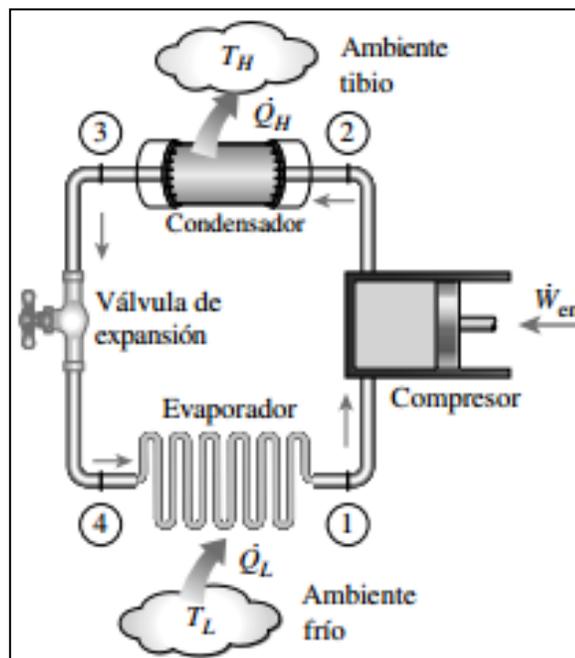


Figura 4.1 Diagrama del sistema de refrigeración por compresión de vapor.

4.1.2 Sistema De Refrigeración De Gas.

El refrigerante permanece todo el tiempo en la fase gaseosa.

El rendimiento térmico está fuertemente influenciado por, la relación que hay entre la compresión y la temperatura de los gases de combustión al ingreso (Ver Figura 4.2) (Fernandez, 2009).

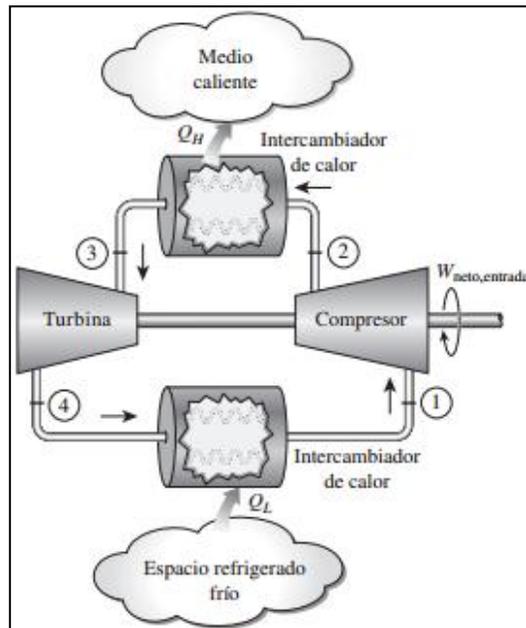


Figura 4.2 Diagrama del sistema de refrigeración de gas.

4.1.3 Sistema De Refrigeración Por Absorción.

El refrigerante se disuelve en un líquido antes de ser comprimido.

Los sistemas de refrigeración por absorción implican la absorción de un refrigerante por un medio de transporte. El sistema de refrigeración por absorción más utilizado es el sistema de amoníaco-agua ($NH_3 - H_2O$), donde el amoníaco sirve como el refrigerante y el agua es el medio de transporte. Otros sistemas de refrigeración por absorción son los de agua-bromuro de litio ($H_2O - LiBr$) y el de agua-cloruro de litio ($H_2O - LiCl$), en los que el agua sirve como refrigerante. Los últimos dos sistemas están limitados a aplicaciones como el acondicionamiento de aire, en las que la temperatura mínima queda por arriba del punto de congelación del agua (Ver Figura 4.3) (Cengel & Boles, 2012).

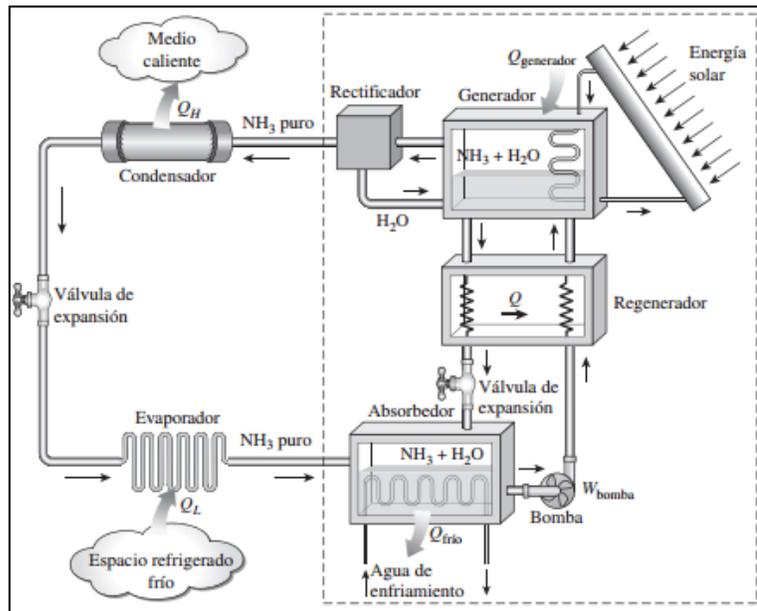


Figura 4.3 Diagrama del sistema de refrigeración por absorción.

4.1.4 Sistema De Refrigeración Termoeléctrica.

La refrigeración es producida mediante el paso de corriente eléctrica a través de dos materiales distintos.

Todos los sistemas de refrigeración más comunes incluyen muchas partes móviles y componentes voluminosos y complejos. Por ello, la siguiente pregunta viene a la mente: *¿Es necesario que un sistema de refrigeración sea tan complicado? ¿Será factible lograr el mismo efecto de una manera más directa?* La respuesta a estas preguntas es sí. Es posible emplear la energía eléctrica de manera más directa para producir enfriamiento sin involucrar ningún refrigerante ni partes móviles. El efecto que caracteriza este sistema es llamado *Efecto Seebeck*, en honor a *Thomas Seebeck* (Ver Figura 4.4) (Cengel & Boles, 2012).

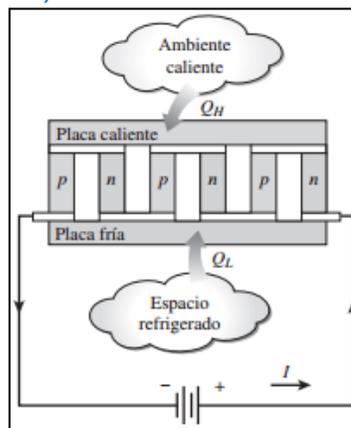


Figura 4.4 Diagrama del sistema de refrigeración termoeléctrico

4.1.5 Sistema Con Refrigerante Secundario.

Se realiza el ciclo frigorífico con un refrigerante en un circuito normal, y en el evaporador se enfría otro fluido (refrigerante secundario), que se envía a los intercambiadores situados en los lugares donde se encuentra la carga térmica. Estos sistemas requieren del uso de una bomba para mover al refrigerante secundario entre los intercambiadores donde se enfría el aire o producto, y el evaporador donde el fluido secundario cede su calor al refrigerante tradicional.

La gran ventaja que presenta este método es que el refrigerante primario se mantiene confinado en una sala de máquinas, siendo mucho más sencillo mantener el sistema libre de fugas e inclusive el equipo frigorífico puede ser traído como una unidad compacta montada en fabrica. Entre los inconvenientes existentes en este sistema, tenemos que el refrigerante secundario necesita un proceso de intercambio de calor extra, ya que en el evaporador enfriamos el fluido secundario, y luego este es el que enfría el aire en el intercambiador del equipo. Por lo tanto, para conservar la misma temperatura en una cámara o heladera, que en los sistemas de un único refrigerante debemos disminuir en al menos 3°C la temperatura de ebullición del refrigerante, lo que implicará un aumento de potencia en los compresores del orden del 9%, en el caso de utilizar R-22 (Ver Figura 4.5) (Aguilo, 2000).

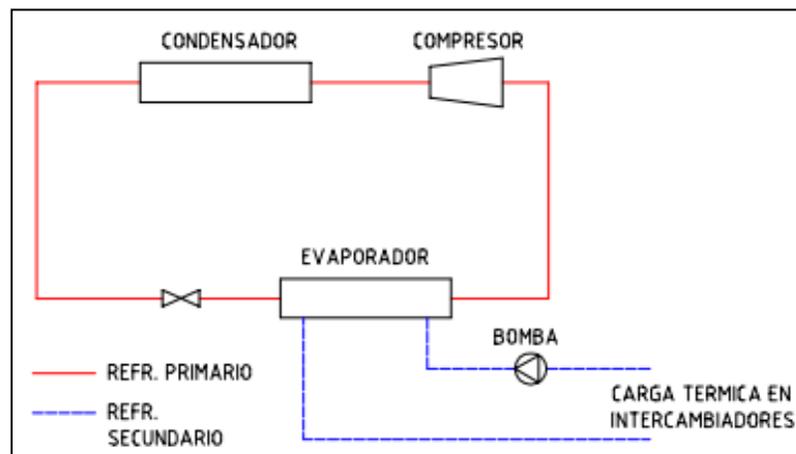


Figura 4.5 Diagrama del sistema con refrigerante secundario.

4.2 PROCESOS EN LA PLANTA COLANTA.

Debemos conocer en que consiste cada proceso en la planta, por ello se definirá cada actividad a realizar desde la llegada de la materia prima a procesar (leche), hasta la salida del producto terminado (leche pulverizada, Pasteurizada, mantequilla, entre otros) y el proceso de producción de Tampico; de esta forma se logra observar el impacto que el sistema de refrigeración o enfriamiento de agua tiene en cada uno de los procesos.

4.2.1 Recibo Y Almacenamiento De Leche.

El recibo de leche de la planta procesadora de la Cooperativa se divide en el recibo de leche en carrotanques y leche en cantinas. Está constituido como lo muestra el flujograma (Ver Figura 4.6).

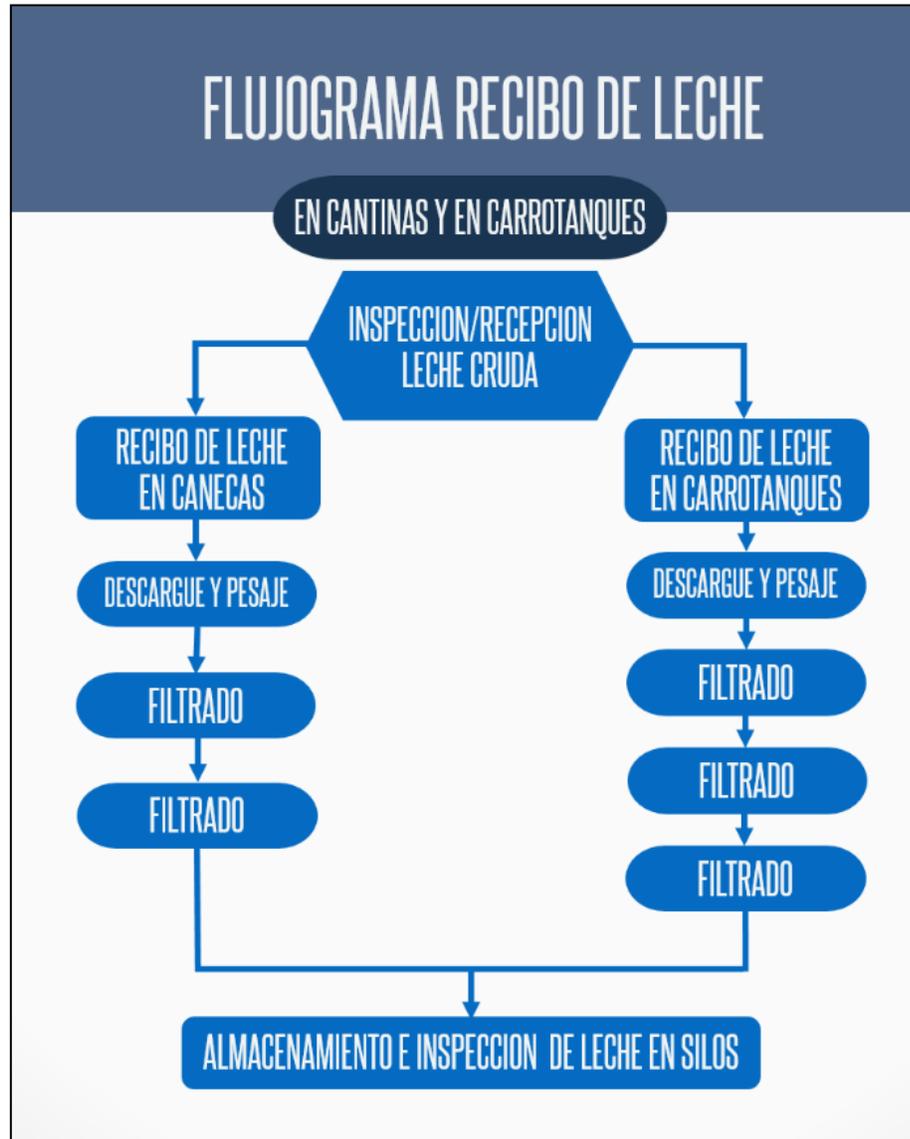


Figura 4.6 Flujograma de la línea de proceso de recibo de leche

4.2.1.1 *Recibo de leche en carrotanques.*

El conductor toma el contenido del tanque en la finca, realiza análisis sensorial, toma la temperatura de la leche en el tanque y realiza la prueba de alcohol y acidez según el instructivo de análisis fisicoquímico. Si la evaluación se encuentra dentro de las especificaciones se carga la leche al carrotanque.

Luego del ingreso de los carrotanques a la planta, éstos pasan a la báscula camionera donde son pesados, se informa el nombre de la ruta para identificar el vehículo y luego son dirigidos a la toma de muestras de leche (para análisis fisicoquímico, sensorial y composicional), se descarga el producto (leche a $\pm 6^{\circ}\text{C}$) y se lava el carrotanque. La leche descargada es filtrada y enviada a los silos de almacenamiento haciendo paso por el enfriador de placas (*Intercambiador de placas planas*), quien lleva la temperatura del producto entre $2\pm 4^{\circ}\text{C}$, que es finalmente la temperatura de almacenamiento e inicio de proceso. Por lo general la leche recibida en carrotanques es utilizada para el proceso de pulverización; de este proceso, se deriva también el proceso de mantequilla cuando se trabaja la leche en polvo descremada y semi-descremada.

4.2.1.2 *Recibo de leche en canecas.*

Se recepciona el carro siendo ubicado en el recibo asignado y registrando el número de la ruta del carro a descargar. Las canecas son descargadas sobre un transportador de sistema cardánico. La leche que llega a temperatura de $\pm 30^{\circ}\text{C}$, se inspecciona caneca por caneca revisando las características sensoriales (olor, color y apariencia) y fisicoquímicas (prueba de alcohol, en caso de ésta ser positiva se realiza prueba de acidez), según el plan de inspección y ensayo de recibo de leche cruda.

Las canecas con leche apta o conforme, son vaciadas en el tanque-báscula, el anotador registra en el sistema de recibo de leche el volumen rechazado por productor y totaliza el volumen de la leche aceptada o recibida. Luego de ser pesada la leche, es descargada a un tanque receptor donde es filtrada y bombeada a través del enfriador de placas hacia los tanques de almacenamiento (silos), a una temperatura por debajo de los $2\pm 4^{\circ}\text{C}$.

4.2.2 *Proceso De Pasteurización De La Leche.*

Podemos describir la pasterización, como el proceso térmico realizado a los líquidos con el fin de reducir la presencia de agentes patógenos que puedan estar contenidos en el producto. La pasterización tiene como uno de sus objetivos la esterilización parcial de los alimentos líquidos, alterando lo menos posible su estructura física, sus componentes químicos y sus propiedades organolépticas. Luego de someter el líquido a altas temperaturas (de 71°C a 89°C) durante un periodo de tiempo determinado (debe hacerse de forma correcta para garantizar la no presencia de agentes infecciosos y que el producto no pierda sus propiedades alimenticias), se enfría rápidamente, esto genera un choque térmico el cual garantiza la eliminación de los agentes infecciosos y

preservar la inocuidad de las propiedades del producto. (Equipos y Laboratorio de Colombia, 2012)

En la *Figura 4.7* vemos el proceso de pasteurización en la planta.

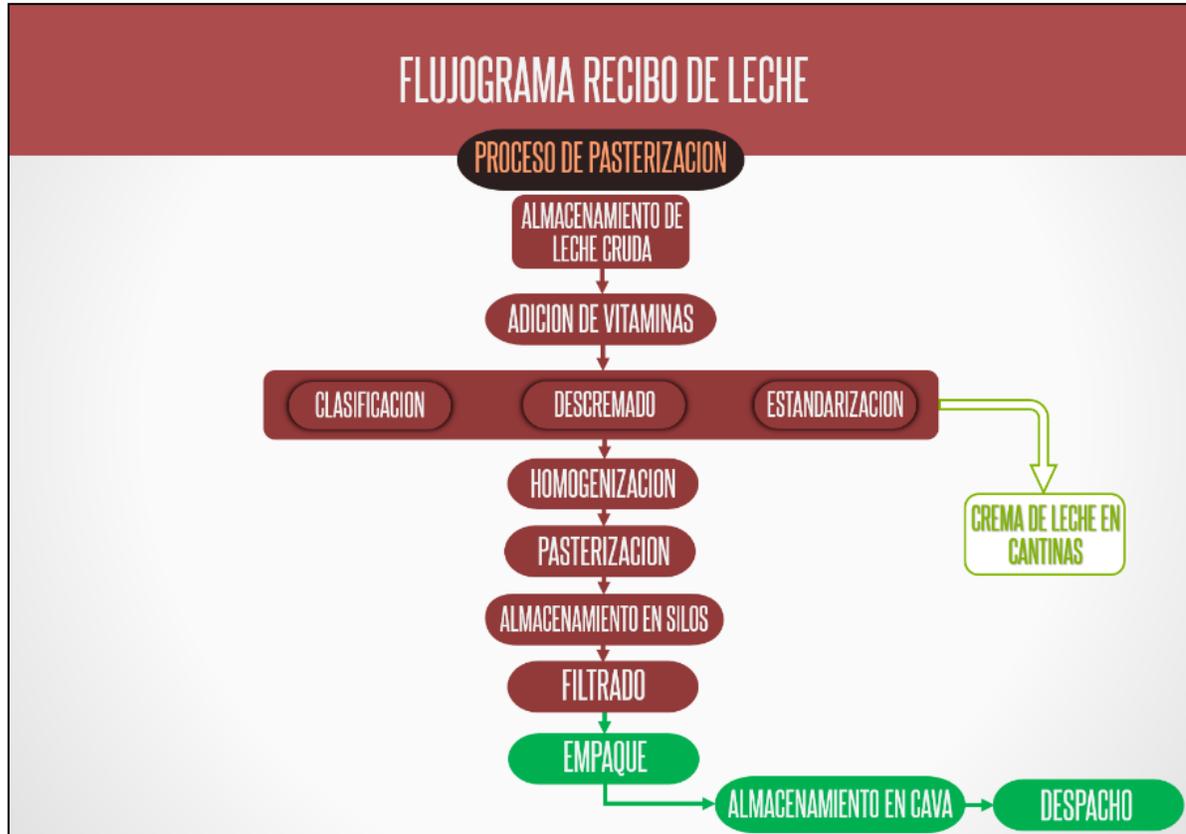


Figura 4.7 Línea de pasteurización de la leche

4.2.3 Proceso De Pulverización.

En el proceso de pulverización se trabaja leche entera y leche descremada, dependiendo de los requerimientos del producto, inicia con el despacho de leche cruda de los silos al primer nivel llamado evaporización, donde en primera instancia se le hace un precalentamiento, luego llega a la centrifuga o clarificadora donde se hace el descremado o la estandarización de acuerdo al producto que se quiera obtener al final del proceso, una vez estandarizada la leche se le hace la adición de vitaminas para pasar a la zona de pasteurización, filtrado y evaporación (calandrias que van produciendo el concentrado), el concentrado es almacenado en el “tanque de concentrado” pasa por una nueva filtración y es llevado al homogenizador quien envía el concentrado directo al atomizador en la cámara de secado.

Una vez atomizado el producto pasa por un secado en lecho, por un enfriamiento por aire filtrado deshumificado y un tamizado para finalmente ser empacado y despachado (Ver Figura 4.8).

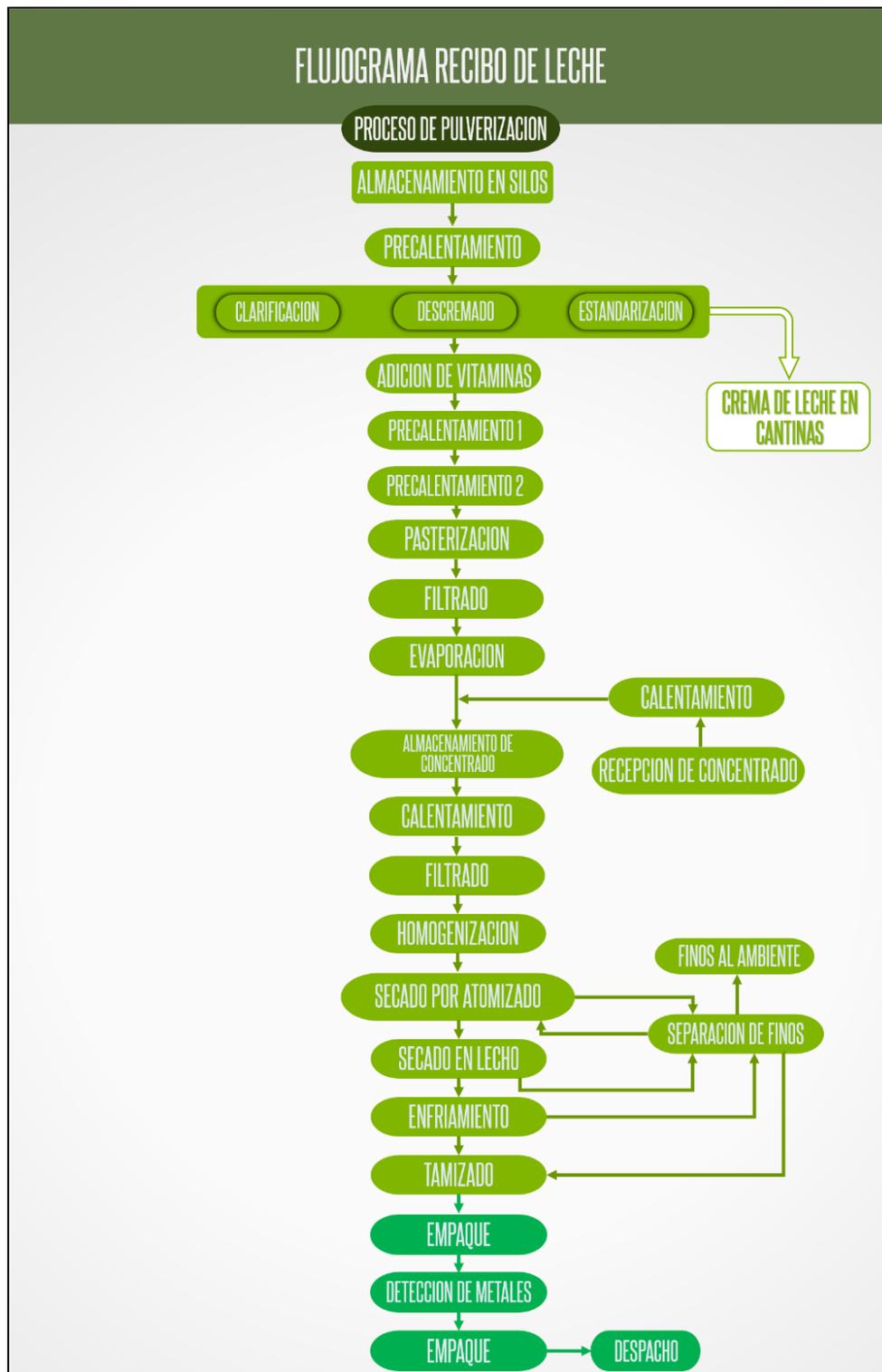


Figura 4.8 Línea Pulverización de leche

4.2.4 Proceso De Mantequilla.

La crema cruda, es recibida de un proceso de descremado de leche o de carrotanques provenientes de plantas de procesamiento.

Se realizan los respectivos análisis fisicoquímicos y composicionales según el instructivo “análisis fisicoquímicos y composicional de derivados lácteos”, La crema de leche es enfriada en un enfriador de placas para evitar el rápido desarrollo de microorganismos en el producto crudo y es enviado a un tanque auxiliar donde se mantiene a una temperatura de enfriamiento con agitación constante.

La crema de leche cruda y fría se pasteriza y es enviada a los tanques de maduración donde se almacena a una baja temperatura y a un tiempo mínimo determinado, luego de verificar que los valores estén dentro de los parámetros, se libera el silo de crema a procesar y es enviada a calentamiento para adecuarla térmicamente, en esta etapa la crema está lista para pasar al proceso de batido, amasado y texturizado. Paralelo a la producción de mantequilla se produce suero como subproducto del proceso, este suero es enfriado y almacenado en un silo (*Ver Figura 4.9*).

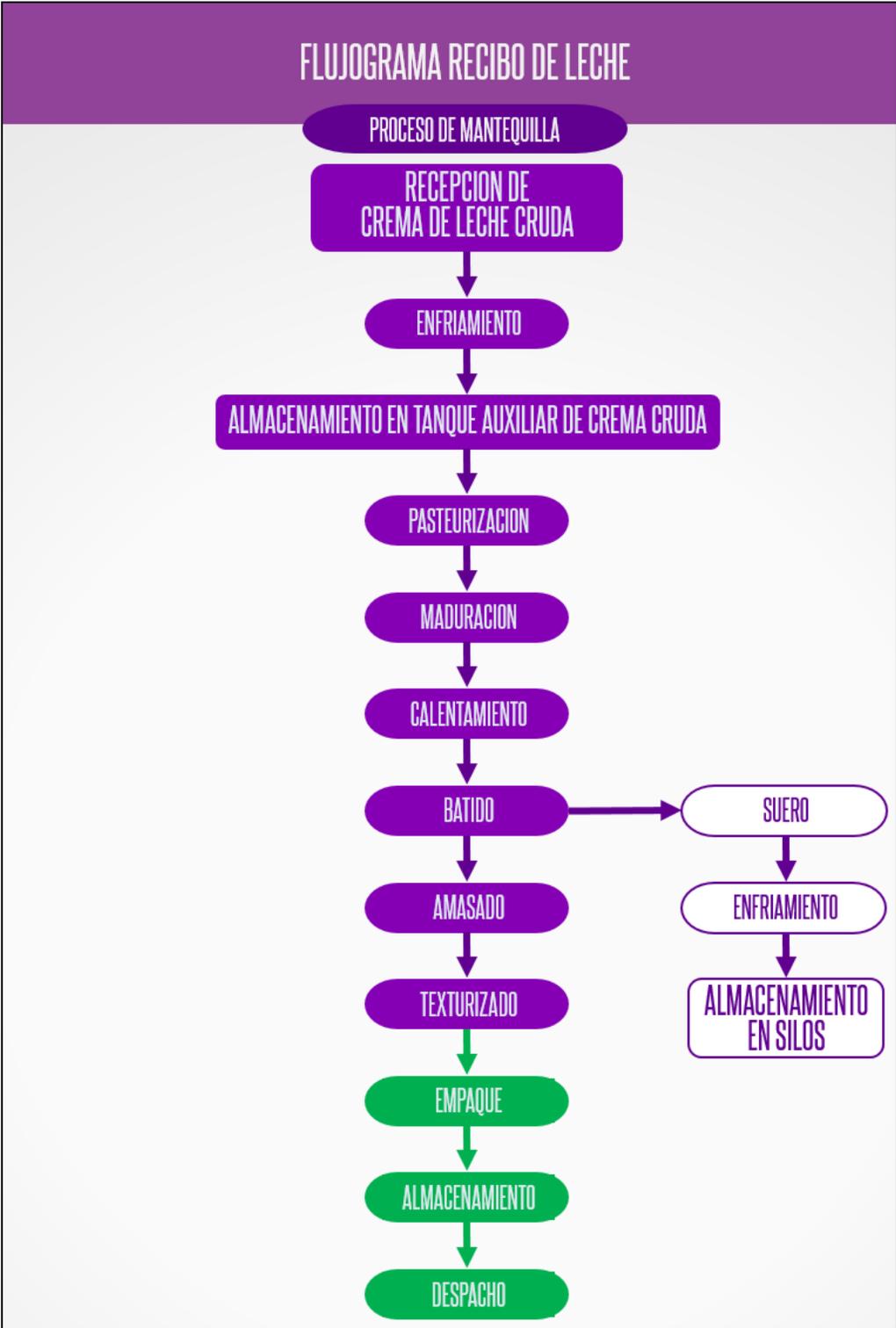


Figura 4.9 Línea de proceso de la mantequilla

4.2.5 Proceso De Tampico.

El proceso de Tampico inicia con la recepción de los insumos (base de Tampico, azúcar, benzoato de potasio, y demás), la base del Tampico es el concentrado utilizado para la elaboración del producto y es enviado por el fabricante de la marca.

Se adiciona cada insumo con previa verificación de su liberación por control de calidad, dependiendo de las características del mismo.

En el proceso el agua es pasterizada y se realiza la mezcla o adición de los insumos, y el producto es enviado a silos de almacenamiento donde se mantiene a una baja temperatura, para luego ser empacado y despachado al consumidor.

4.3 GENERALIDADES DEL SISTEMA DE REFRIGERACION DE LA PLANTA PROCESADORA, COOPERATIVA COLANTA S.A. EN PLANETA RICA, CORDOBA.

Con el fin de describir las generalidades del sistema de refrigeración en la planta se tendrá en cuenta lo siguiente:

- † ***¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.***
- † ***¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.***
- † ***¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.***
- † *Equipos Que Consumen Frío.*

4.3.1 Características Del Sistema.

El sistema de refrigeración usado en la planta procesadora es el Sistema Por Compresión De Vapor. (Ver ítems 4.1.1) y está constituido por dos subsistemas para el enfriamiento del agua.

4.3.1.1 Subsistema por recirculación de líquidos.

Este sistema es empleado en los bancos de hielo, donde se recircula agua a los procesos que requieren frío.

En el caso de los evaporadores con recirculación de líquido también llamado de circulación forzada el refrigerante líquido es impulsado por una bomba para enviar una cantidad mayor al evaporador, es decir se caracterizan por enviar al evaporador un flujo másico de líquido refrigerante superior al flujo de vapor que se produce en dicho evaporador, por eso también reciben el nombre de sistemas sobrealimentados. El esquema de la instalación (Ver Figura 4.10) (Aguilo, 2000).

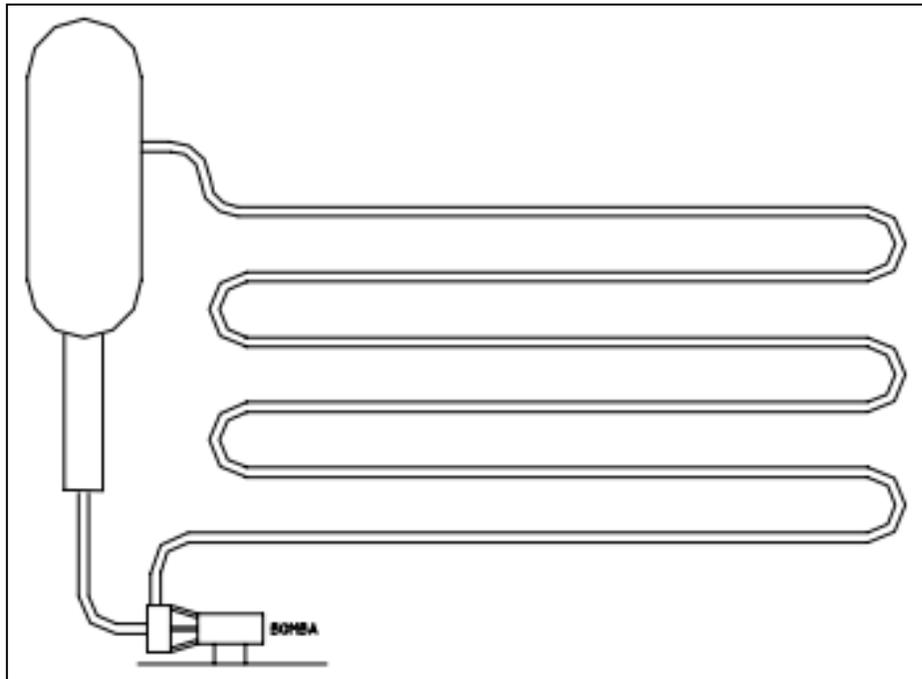


Figura 4.10 Diagrama del sistema por recirculación del líquido

4.3.1.2 Subsistema con evaporador inundado.

Se destacan por entregar una cantidad considerable de líquido refrigerante al evaporador y es empleado en el Chiller.

Los evaporadores inundados trabajan con refrigerante líquido y son llenados por completo con este mismo a fin de tener humedecida toda la superficie interior del intercambiador y, en consecuencia, la mayor razón posible de transferencia de calor.

El evaporador inundado está equipado con un acumulador o colector de vapor el que sirve, a la vez, como receptor de líquido, desde el cual el refrigerante líquido es circulado por gravedad a través de los circuitos del evaporador. Preferiblemente son utilizados en aplicaciones industriales, con un número considerable de evaporadores, operando a baja temperatura y utilizando amoníaco R-717 como refrigerante (Ver *Figura 4.11*) ([mwlib, 2011](#)).

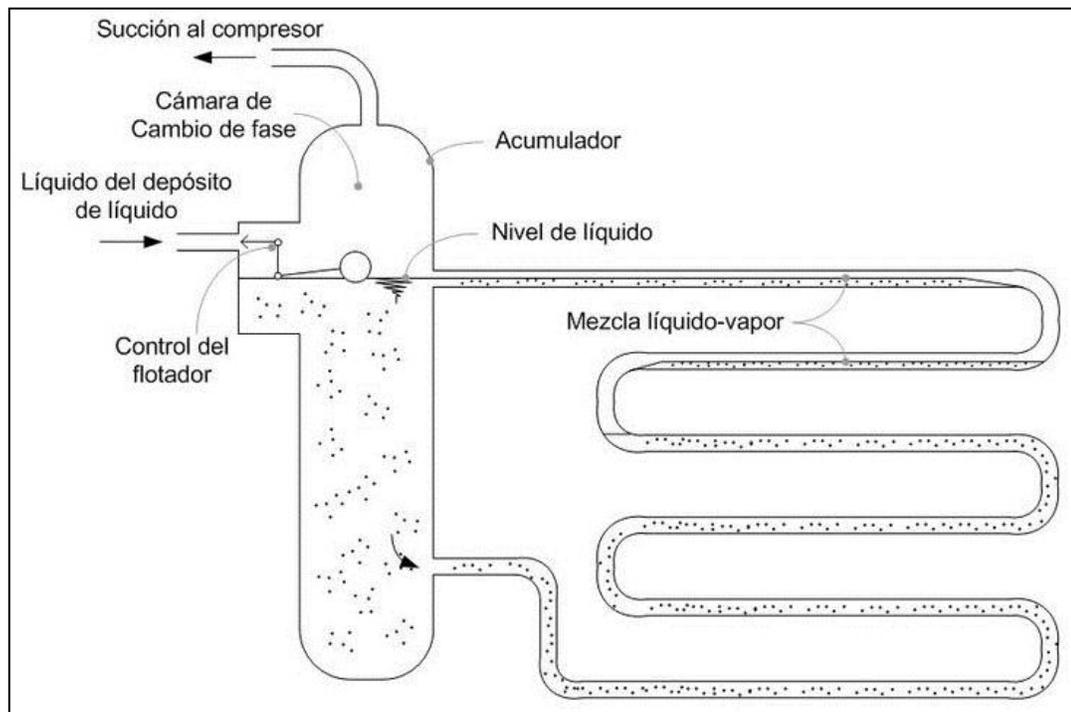


Figura 4.11 Diagrama del sistema de evaporador inundado

Estos dos subsistemas se complementan entre sí, tal que cuando hablamos de sistema de recirculación de líquido incorporamos todos los equipos adicionales que permiten que el sistema este inundado (Calderon Candela & Gomez Diaz, 2010).

El sistema consta de un grupo de compresores de pistón y de condensadores evaporativos conectados en paralelo, permitiendo que todos los equipos trabajen a presiones iguales tanto en la entrada como en la salida, este subsistema trabaja para el enfriamiento de agua recirculada en los depósitos llamados “Bancos de hielo”, consta también de un subsistema inundado que trabaja para el enfriador de agua (Chiller, compresor Vilter monotornillo), por el cual se recircula agua a través de las cortinas de cobre por donde pasa el líquido refrigerante.

El sistema trabaja con amoniaco (NH_3) R-717 como líquido refrigerante, el cual se almacena en un tanque receptor o tanque de alta (alta presión), el refrigerante pasa al tanque separador de líquido o tanque de baja presión, de donde el evaporado es succionado por los compresores, mientras que el almacenado en el tanque es bombeado al enfriador o enfriadores (evaporadores). El compresor eleva la presión y la temperatura del refrigerante para luego hacerse pasar por los condensadores-evaporativos y nuevamente ser llevado al tanque receptor (Ver Figura 4.12 Figura 4.13).

El sistema en general cuenta con dos tanques receptores de líquido, uno para el subsistema de compresores de pistón y uno para el subsistema Chiller ambos con presiones aproximadas de 160 y 180 psi respectivamente.

Otras características del sistema son:

- ✓ Presión de succión compresores de pistón: 32 psi. (2,2 Bar).
- ✓ Presión de descarga compresores de pistón: 160 psi. (11 Bar).
- ✓ Presión de succión compresor de tornillo Vilter: 34 psi. (2,3 Bar).
- ✓ Presión de descarga compresor de tornillo Vilter: 180 psi. (12,4 Bar).

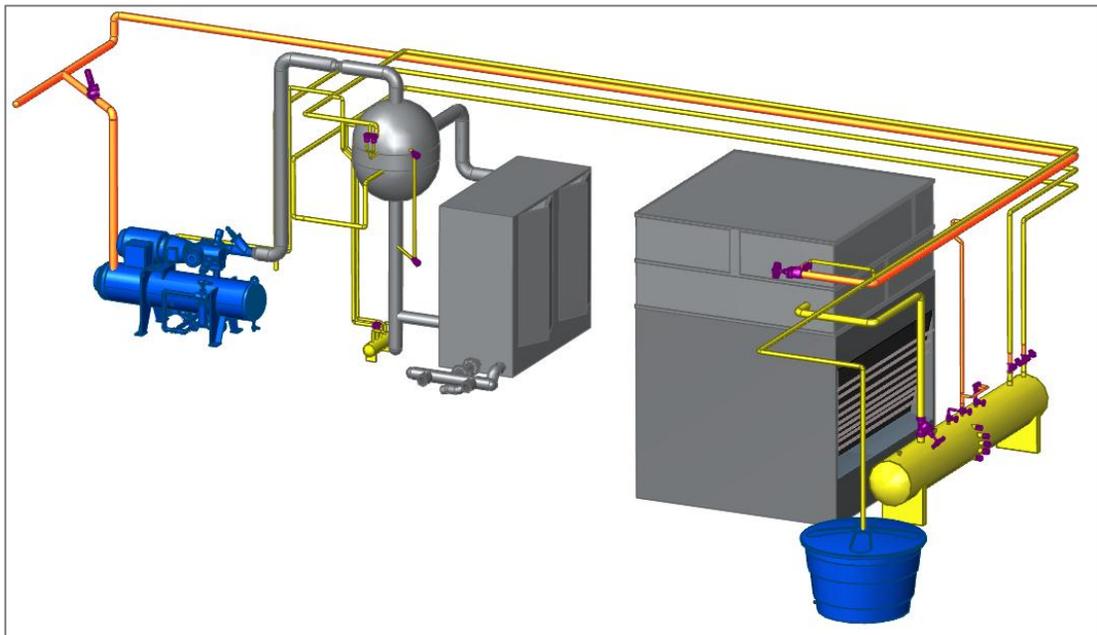


Figura 4.12 Diagrama Sistema de Refrigeración del Chiller

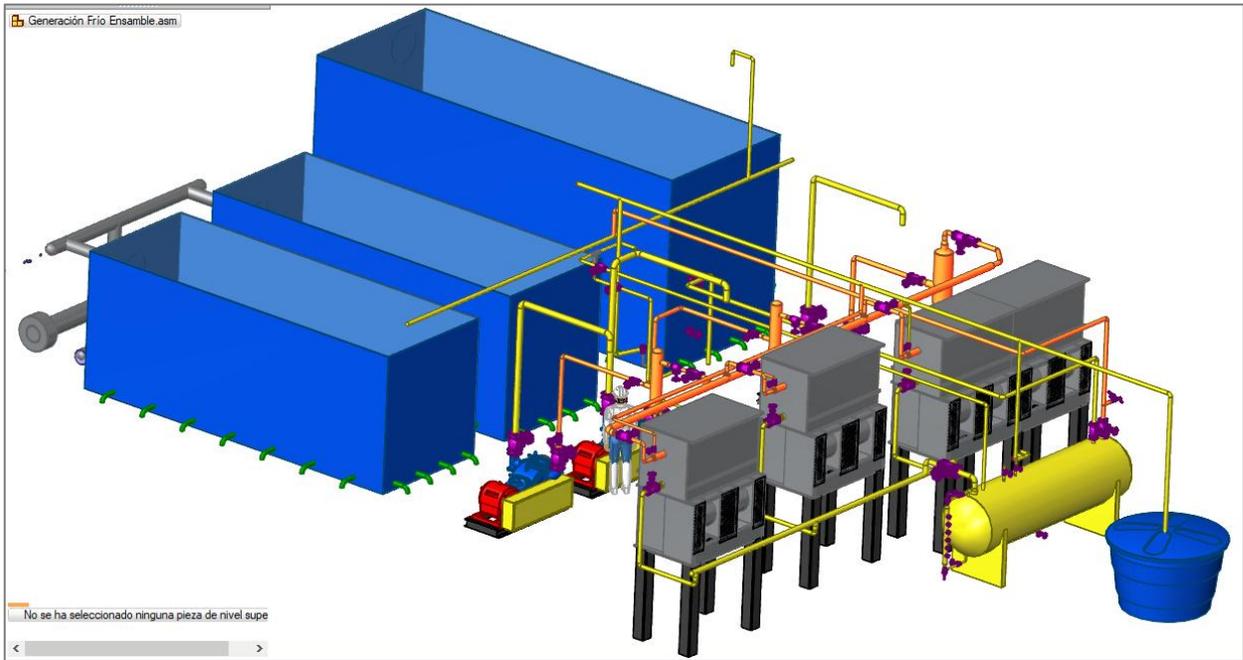


Figura 4.13 Sistema de refrigeración de los Bancos de Hielo

4.3.2 Equipos De Refrigeración.

4.3.2.1 Compresores.

El sistema consta de 3 compresores de pistón (Ver Figura 4.24 Figura 4.25 Figura 4.26), uno de los cuales se encuentra fuera de servicio porque no se ha podido encontrar repuesto ya que es un modelo obsoleto. Un compresor monotornillo de marca Vilter (Ver Figura 4.14), cada compresor cuenta con diferentes características en capacidad de operación.

La potencia total de operación de todo el sistema según marcas, modelos y series es de 350 HP (260,995 KW).

4.3.2.1.1 Compresor Monotornillo Vilter VSS 601 (Ver Figura 4.14)

Se caracteriza por tener eje desnudo con el acoplamiento, motor, separador de aceite, marco, sistema de microcontrolador y sistema de aceite. Este tipo de máquinas no está montado sobre una base de acero estructural.

- Características que identifican al Compresor Monotornillo Vilter VSS 601

Cada compresor de refrigeración puede ser diferente, pero a continuación se muestran los componentes típicos que se pueden encontrar en esta unidad especificada (Ver Figura 4.14, Figura 4.15, Figura 4.16 y Figura 4.17).

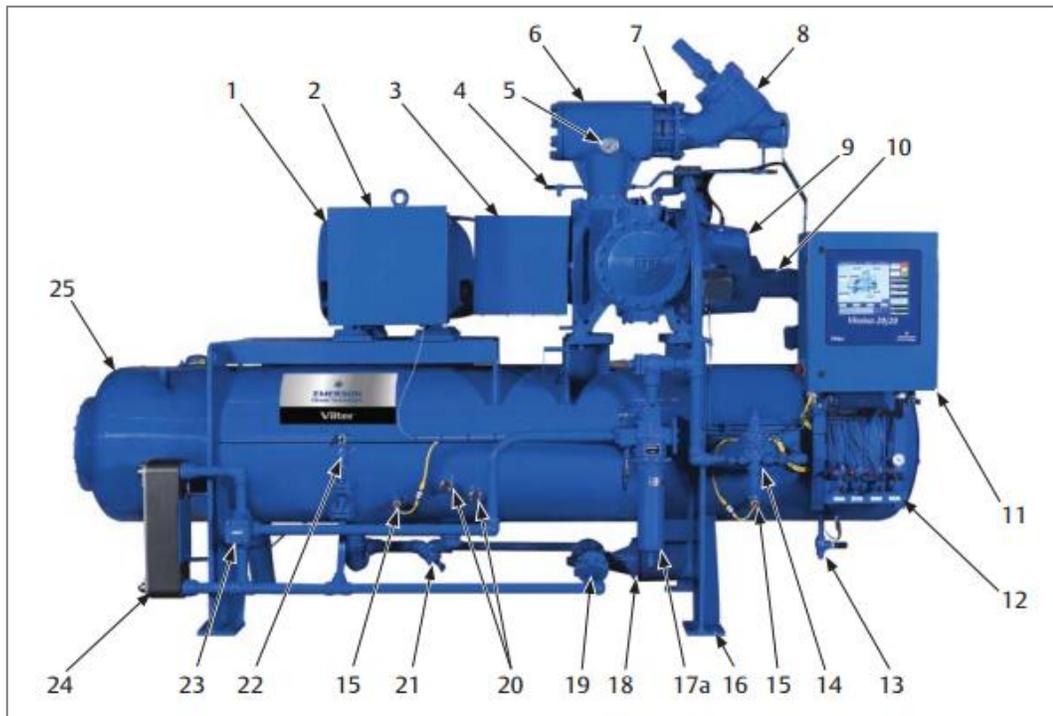


Figura 4.14 Diferentes componentes del compresor monotornillo Vilter VSS-601 (1 de 4)

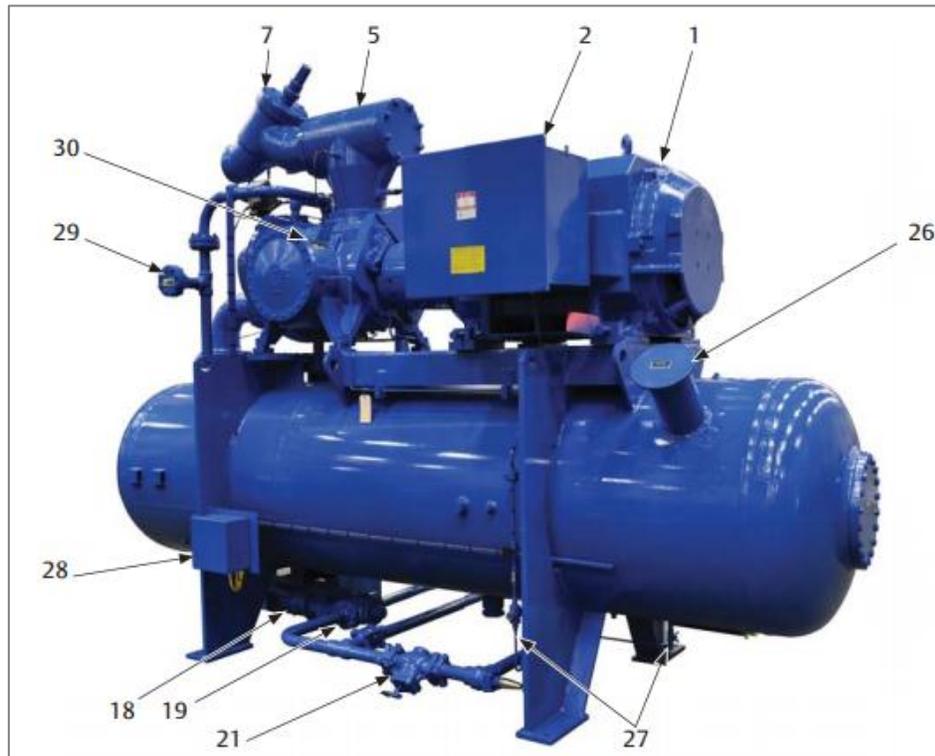


Figura 4.15 Diferentes componentes del compresor monotornillo Vilter VSS-601 (2 de 4)



Figura 4.16 Diferentes componentes del compresor monotornillo Vilter VSS-601 (3 de 4)

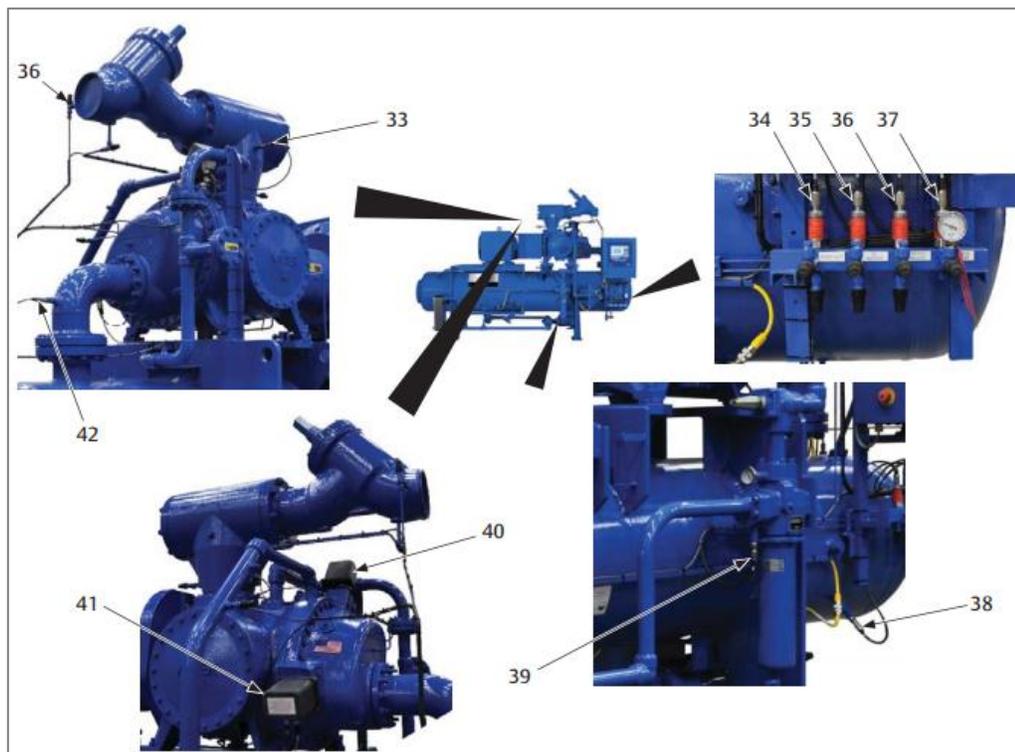


Figura 4.17 Diferentes componentes del compresor monotornillo Vilter VSS-601 (4 de 4)

- | | | |
|--|--|---|
| 1- Motor | 20- Visor de aceite | 33- Elemento de temperatura (succión) |
| 2- Caja del motor | 21- Filtro de la bomba de aceite | 34- Transductor de presión (entrada del filtro) |
| 3- Acoplamiento y protector | 22- Válvula de alivio de presión de aceite | 35- Transductor de presión (Presión de aceite) |
| 4- Válvula de carga del aceite de succión | 23- Válvula de control de temperatura del aceite | 36- Transductor de presión (presión de succión) |
| 5- Termómetro | (Válvula mezcladora de aceite) | 37- Transductor de presión (presión de descarga) |
| 6- Filtro de succión | 24- Refrigerador de aceite | 38- Elemento de temperatura (Separador de aceite) |
| 7- Válvula de retención de succión | (intercambiador de calor de placa) | 39- Elemento de temperatura (inyección de aceite) |
| 8- Válvula de detención de succión | 25- Separador de aceite | 40- Actuador de la válvula deslizante para la capacidad |
| 9- Compresor | 26- Conexión de descarga | 41- Actuador de la válvula deslizante para el volumen |
| 10- Tubo de Descarga | 27- Línea de retorno de aceite coalescente | 42- Elemento de temperatura (descarga) |
| 11- Visión 20/20 HMI | 28- Panel de cableado del calentador | |
| 12- Ensamblaje de bloques y purgas | 29- Brida de conexión del economizador | |
| 13- Válvula de drenaje / llenado de aceite | 30- Placa de identificación | |
| 14- Regulador de presión de aceite | 31- Línea de equalización de succión | |
| 15- Calentador de aceite | 32- Placa de certificación del separador de aceite | |
| 16- Soporte | | |
| 17a- Filtro de aceite, simple (vertical) | | |
| 17b- Filtro de aceite, Dual (horizontal) | | |
| 18- Motor de la bomba de aceite | | |
| 19- Bomba de aceite | | |

- *Niveles de aceite para operar*

Adherir al compresor Vilter monotornillo el lubricante suministrado por el proveedor, garantiza el no desgaste por fricción y la pérdida de las diversas formas de producción de energía (Ver Figura 4.18) (EMERSON CLIMATE TECHNOLOGIES, 2015).

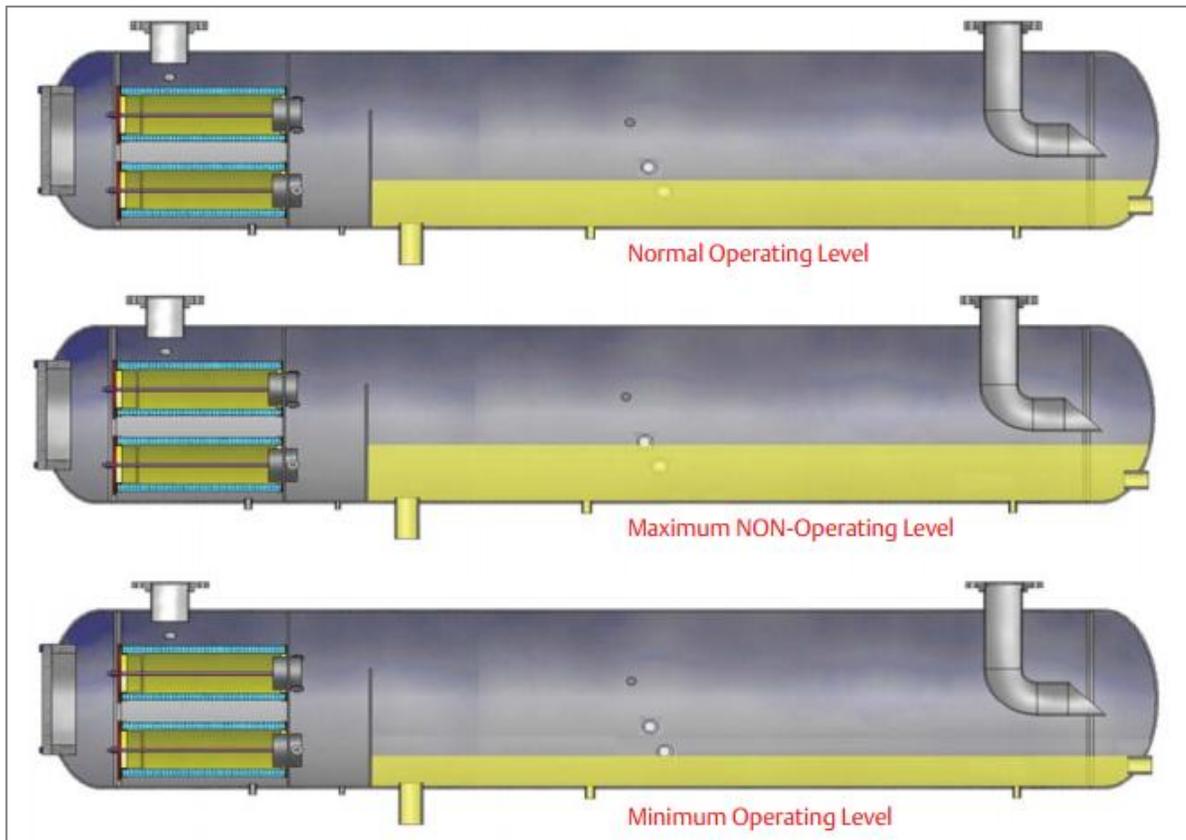


Figura 4.18 Niveles de aceite para una óptima funcionalidad.

- Sistema de control del compresor

Para monitorear y controlar los eventos y factores más importantes para el correcto funcionamiento del compresor se cuenta con un microcontrolador marca *Vission*. A través de la pantalla táctil mostrada en la *Figura 4.19* se pueden leer valores como capacidad de refrigeración, volumen de desplazamiento, temperatura, presión de descarga, presión de succión, condiciones de operación del aceite, amperaje del motor, etc. (BUIRAGO ARENAS, 2012)

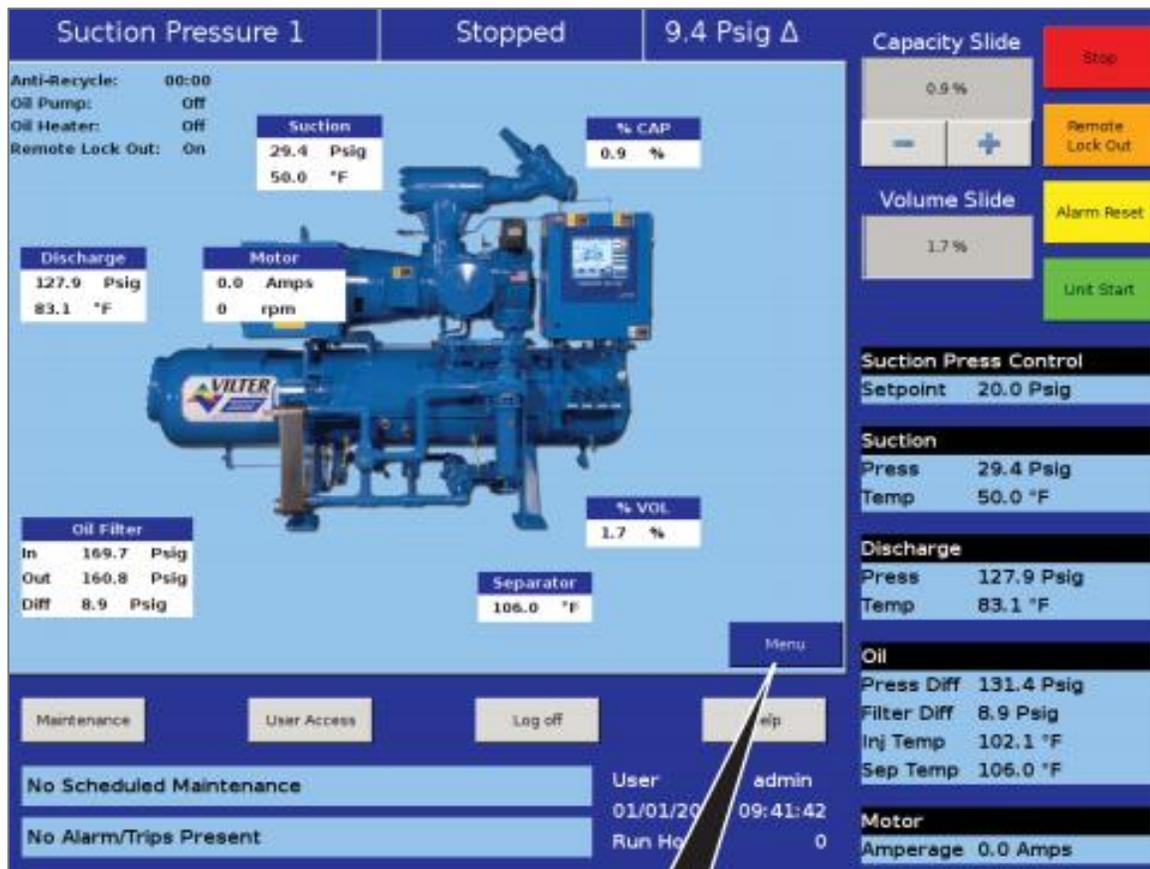


Figura 4.19 Pantalla táctil del microcontrolador Vission.

Compresor Monotornillo Vilter, Chiller (Ver Figura 4.14)

- Marca: Vilter
- Modelo: VSS-601
- Refrigerante: NH₃ Amoniaco (R-717).

Motor trifásico.

- ✓ Marca: Emerson.
- ✓ Modelo: H 635.
- ✓ Potencia: 250 HP.
- ✓ Velocidad: 3560 rpm.

Características de Operación.

- ✓ Potencia: 250 HP (186,4 KW).
- ✓ Presión de succión: 34 psi (2,3 Bar).
- ✓ Presión descarga: 180 psi (12,4 Bar).

4.3.2.1.2 Compresor de Pistón Crepaco C-3318.KH10

El compresor de accionamiento directo estándar consta de un solo compresor de ocho cilindros, conexiones, válvulas de parada, base de la unidad, medidores con placa, recorte de alta presión y corte de presión diferencial de seguridad de aceite. El compresor en las unidades del tipo de refuerzo es idéntico y la unidad es similar y puede ser de correa o de accionamiento directo (Ver Figura 4.24)(CREPACO INDUSTRIES, 2014).

- Secado y limpieza interna

Es esencial que estos compresores sean instalados y operados en un sistema de tuberías de refrigerante que esté completamente seco y limpio. Los compresores están interiormente limpios, libres de humedad y listos para un funcionamiento satisfactorio cuando salen de la fábrica. Sin embargo, si se instalan u operan en un sistema refrigerante que está contaminado con humedad y/o material extraño, pueden ser dañados seriamente. Es particularmente importante que se tomen todas las precauciones para evitar que la humedad y materiales extraños entren en el compresor al instalar un nuevo compresor en un sistema de tuberías existente (CREPACO INDUSTRIES, 2014).

- Acoplamiento flexible

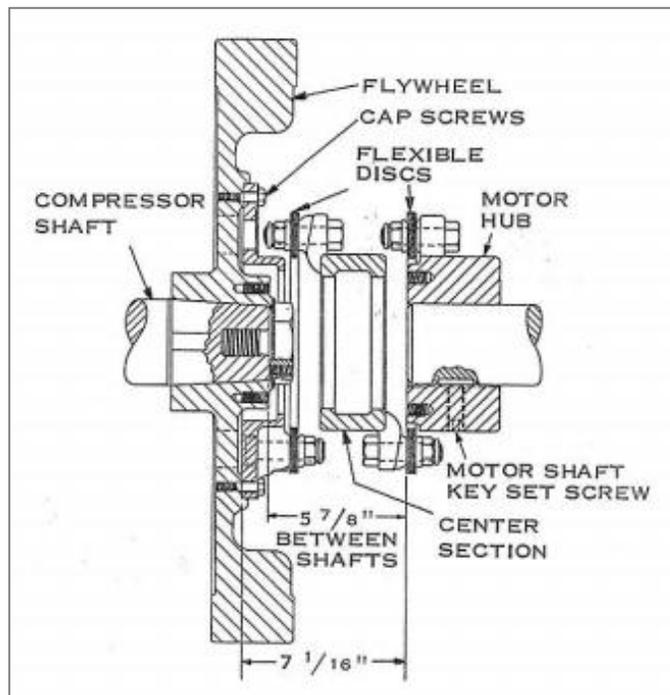


Figura 4.20 Acoplamiento flexible y volante.

Cuando estos compresores están conectados directamente a un motor síncrono u otro motor primario, se utiliza un acoplamiento flexible. El acoplamiento es flexible,

pero esto no significa que su alineación sea insignificante, de hecho, cuanto mejor sea la alineación inicial, más suave será la unidad.

Cuando el motor de la unidad del compresor es suministrado o instalado por la fábrica, el acoplamiento flexible está correctamente alineado y el compresor y el motor se atornillan y fijan a la base antes del envío. Normalmente, la unidad del compresor está lista para el funcionamiento tal como se recibió a menos que se haya producido daño durante el transporte (CREPACO INDUSTRIES, 2014).

- Características que identifican al Compresor de Pistón Crepaco C-3318.KH10

Cada compresor de refrigeración puede ser diferente, pero a continuación se muestran los componentes típicos que se pueden encontrar en esta unidad especificada (Ver Figura 4.21 Figura 4.22).

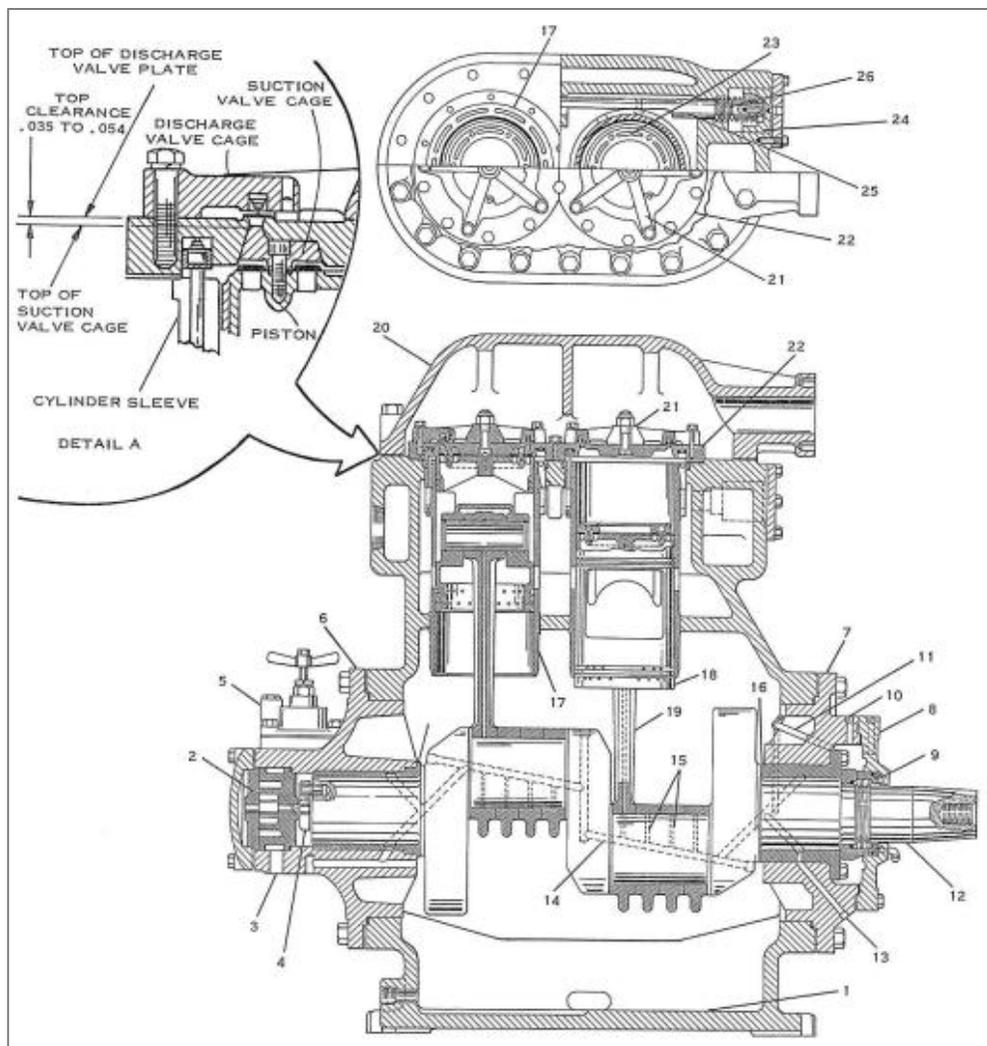


Figura 4.21 Diferentes componentes del Compresor de Pistón Crepaco C-3318.KH10 (1 de 2)

- | | |
|---|---|
| 1- Compresor alojamiento | 14- Formas de aceite en el cigüeñal perforado |
| 2- Bomba de aceite | 15- Alimentos de petróleo perforados para rodamientos de roda de conexión |
| 3- Conexión de aspiración de la bomba de aceite | 16- Rodamientos principales (cigüeñal) |
| 4- Batería de bomba de aceite | 17- Mango del cilindro |
| 5- Filtro de aceite | 18- Ensamble de pistón |
| 6- Cabezal de cojinete de bomba de aceite | 19- Ensamble de roda de conexión |
| 7- Cabezal de cojinete del sello de eje (empujar) | 20- Cabeza superior |
| 8- Placa de cubierta de sello de eje | 21- Caja de válvula de descarga |
| 9- Montaje del sello del eje | 22- Placa de válvula de descarga |
| 10- Alimentación de aceite al sello de eje | 23- Culata de válvula de succión |
| 11- Retorno de aceite - sello de eje a cárter | 24- Pistón descargador |
| 12- Cigüeñal | 25- Rodillo de desmontaje |
| 13- Rodamientos de aceite de aceite para fijar | 26- Descarga la varilla de empuje primavera |

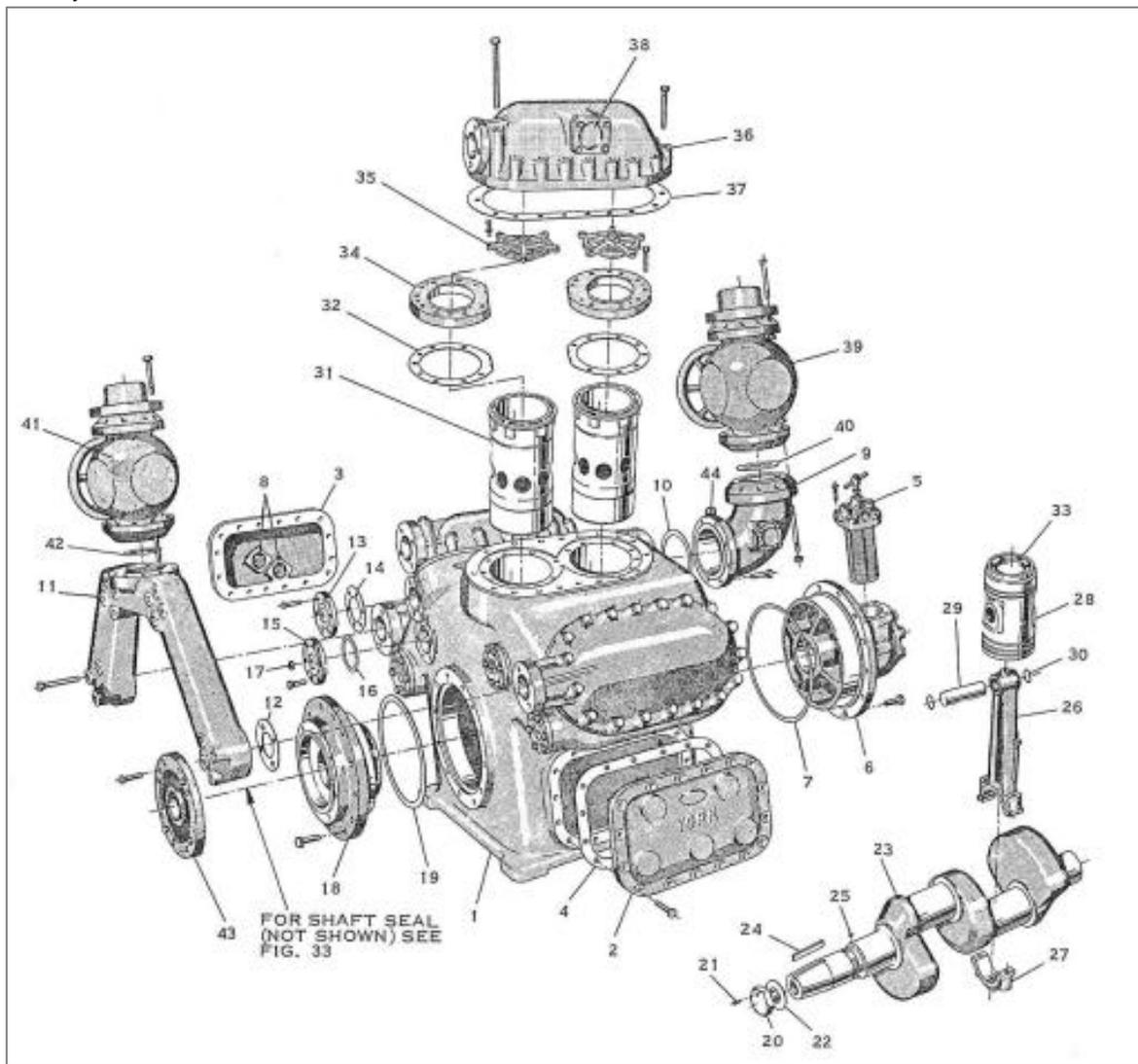


Figura 4.22 Diferentes componentes del Compresor de Pistón Crepaco C-3318.KH10 (2 de 2)

- | | |
|---|--|
| 1- carcasa del compresor | 19- Tornillo del volante |
| 2- Tapa del agujero de la mano, llano | 20- Arandela del tornillo de la rueda |
| 3- Cubierta de agujero de mano, con mirillas | 21- cigüeñal |
| 4- Junta de la tapa del agujero de la junta | 22- Llave del cigüeñal |
| 5- filtro de aceite | 23- Sello de bola del cuello |
| 6- Cabeza del cojinete, extremo de la bomba de aceite | 24- biela |
| 7- Junta del cabezal del rodamiento | 25- Tapa del cojinete de la biela |
| 8- Vidrios de aceite | 26- pistón |
| 9- Codo de succión | 27- pasador del pistón |
| 10- Junta de codo de succión | 28- Muelle de bloqueo del pasador de pistón |
| 11- Colector de descarga | 29- cabezal del cilindro |
| 12- Junta del colector de descarga | 30- Junta de la culata |
| 13- Cubierta del filtro de succión | 31- Válvula de seguridad |
| 14- Junta de la tapa del filtro de succión | 32- Válvula de cierre por succión |
| 15- Tuerca del colador de la succión | 33- Junta de la válvula del tope de succión |
| 16- Cabezal del cojinete, extremo del sello | 34- Válvula de cierre de la descarga |
| 17- Junta del cabezal del rodamiento | 35- Junta de la válvula de tope de la descarga |
| 18- Tornillo del volante | 36- Placa de cubierta del sello del eje |
| | 37- Pozo de succión del termómetro |
- Filtro de aceite

Consta de una carcasa cilíndrica que forma parte de la fundición de la cabeza del cojinete de la bomba de aceite. (Véase la *Figura 4.23*) Se perfora una abertura grande a través de la pared metálica que separa el espacio de descarga de la bomba de aceite del interior de la carcasa del filtro de aceite. Atornillado a la parte superior de esta carcasa está el conjunto de filtro de aceite que consta de una tapa de tipo brida extraíble provista de una válvula de alivio, una conexión de salida de lps y un conjunto de espaciadores, álabes de limpieza estacionarios y discos proporcionados, un husillo hermético al refrigerante por medios que los discos y espaciadores pueden girarse con el fin de limpiar el filtro como se muestra en la *Figura 4.23*. La pila de discos y los espaciadores están unidos a la parte inferior de la cubierta de brida por medio de varillas y todo el conjunto; Mantenido en posición en el alojamiento del filtro cuando la tapa superior está atornillada (CREPACO INDUSTRIES, 2014).

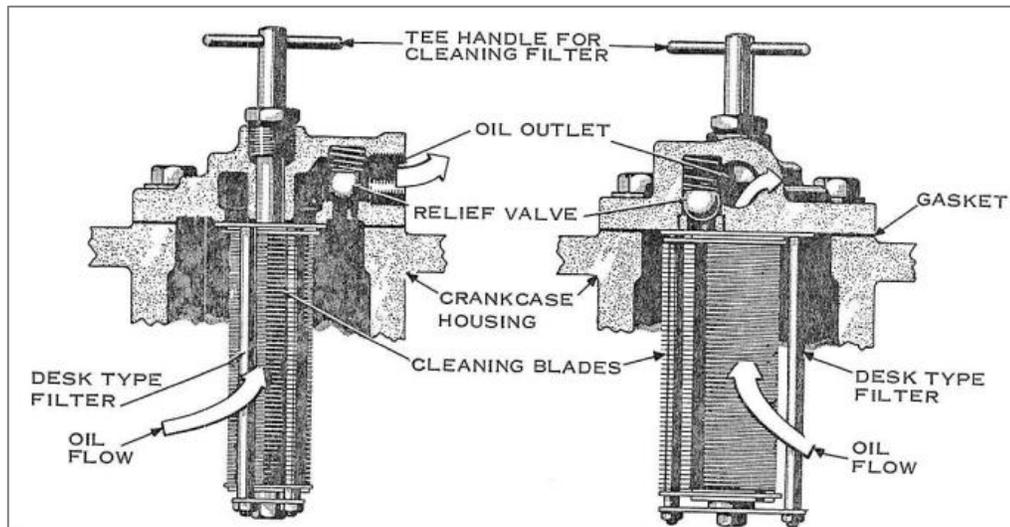


Figura 4.23 Filtro de aceite

Compresor de Pistón Crepaco C-3318.KH10 (Ver Figura 4.24)

- ✓ Marca: Crepado.
- ✓ Modelo: C-3318.KH10.
- ✓ Refrigerante: NH₃ Amoniaco (R-717).

Motor trifásico.

- ✓ Marca: TINCOLN.
- ✓ Modelo: 324 T.
- ✓ Potencia: 40 HP
- ✓ Velocidad: 1765 rpm.

Características de operación.

- ✓ Potencia: 40 HP (29,8 KW).
- ✓ Presión de succión: 32 psi (2,2 Bar).
- ✓ Presión descarga: 160 psi (11 Bar).



Figura 4.24 Compresor de pistón Crepado C-3318.KH10

Compresor de pistón # 2 (Ver Figura 4.25)

- ✓ Marca: Crepado.
- ✓ Modelo: D-2399-KH10.
- ✓ Refrigerante: NH₃ Amoniaco (R-717).

Características de operación:

- ✓ Potencia: 40 HP (29,8 KW).
- ✓ Presión de succión: 32 psi (2,2 Bar).
- ✓ Presión descarga: 160 psi (11 Bar).



Figura 4.25 Compresor de pistón Crepado D-2399-KH10

Compresor de pistón # 3. (Ver Figura 4.26)

- ✓ Marca: Vilter.
- ✓ Modelo: A 12K 454 XL F
- ✓ Refrigerante: NH₃ Amoniaco (R-717).

Motor trifásico.

- ✓ Marca: TINCOLN.
- ✓ Modelo: 365 TS.
- ✓ Potencia: 75 HP.
- ✓ Velocidad: 1775 rpm.

Características de operación.

- ✓ Potencia: 60 HP (44,7 KW).
- ✓ Presión de succión: 32 psi (2,2 Bar).
- ✓ Presión descarga: 160 psi (11 Bar).



Figura 4.26 Compresor de pistón Vilter A 12K 454 XLF

4.3.2.2 Condensadores evaporativos.

El sistema compuesto por los compresores de pistón posee tres condensadores evaporativos, los equipos 1 y 2 son del fabricante norteamericano *Evapco modelo LSCB-48* mientras que, el condensador 3 es de marca B.A.C. (Baltimore aircoil), *modelo VC1-100-R*. Mientras que el condensador evaporativo del sistema de enfriamiento de agua (Chiller) es un condensador *marca VMC-50A* del fabricante B.A.C.

4.3.2.2.1 Condensadores evaporativos EVAPCO.

- Configuración de los tubos de Thermal-Pak.

La configuración de los tubos que componen el serpentín de condensación está patentada por *Thermal-Pak* de EVAPCO (Ver *Figura 4.27* *Figura 4.28*), cuentan con un diseño que asegura la máxima capacidad de condensación. El flujo de aire a través de la tubería es contraflujo al flujo del refrigerante, proporcionando una razón de transferencia de calor más eficiente. Este diseño especial de los tubos se utiliza para reducir la caída de presión del aire a través de la unidad, mientras que, se maximiza el área superficial del tubo y aumenta sus capacidades de transferencia de calor. Los tubos de forma única del serpentín están escalonados en la dirección del flujo de aire para obtener un alto coeficiente de transferencia. Además, todos los tubos son inclinados en la dirección del flujo de refrigerante para dar un buen drenaje del refrigerante líquido (Evapco, 2011).

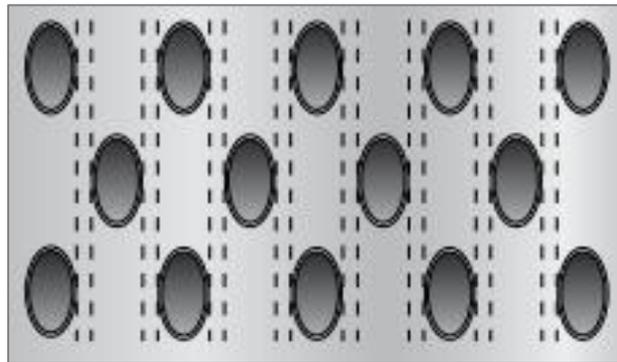


Figura 4.27 Tubería Thermal-Pak por EVAPCO



Figura 4.28 Tubería por otras compañías.

- Características físicas de la tubería.

Los tubos del serpentín se fabrican de acero de alta calidad siguiendo los más estrictos procedimientos de control de calidad (Ver Figura 4.29). Cada circuito es inspeccionado para asegurar la calidad del material y luego probado antes de ser montado en el serpentín. Finalmente, el serpentín ensamblado es sometido a prueba de presión de aire bajo el agua de acuerdo con "Pressure Equipment Directive" (PED) 97/23 / EC.

Para proteger el serpentín contra la corrosión, se coloca en un bastidor de acero pesado y todo el conjunto se sumerge en zinc fundido (*Galvanizado en caliente*) a una temperatura de aproximadamente 430°C (Evapco, 2011).

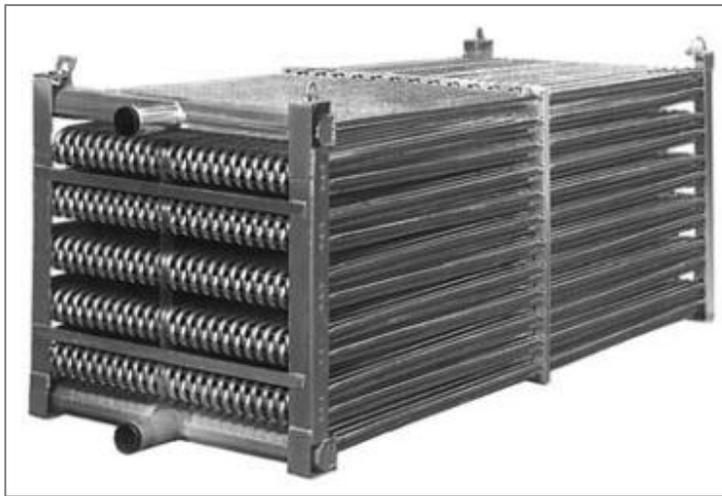


Figura 4.29 Serpentín Thermal-Pak

- Sistema de protección contra la corrosión EVAPCOAT: Estándar para los condensadores evaporativos.

La fabricación del acero galvanizado en caliente se ha utilizado con éxito durante más de 25 años para la protección de los condensadores evaporativos contra la corrosión. Hay varios grados de fabricación del acero galvanizado, cada uno con cantidades de diferentes de Zinc para la protección. EVAPCO ha sido un líder en la industria en el desarrollo de la galvanización más pesada, y fue el primero en estandarizar el acero galvanizado en caliente Z-725. La designación Z-725 significa que hay un mínimo de 725 g de zinc por metro cuadrado de área superficial como se mide en un ensayo de punto triple. Z-725 es el nivel más alto de galvanizado disponible para la fabricación de condensadores evaporativos y tiene un mínimo de 165% de más protección con el zinc que los diseños competitivos con acero Z-275. Durante la fabricación, todos los bordes del panel están recubiertos con un compuesto rico en zinc puro al 95% para una mayor resistencia a la corrosión (Evapco, 2011).

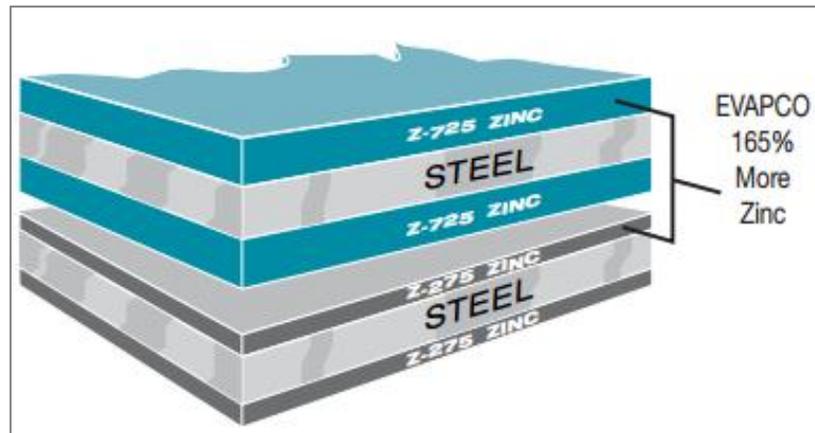


Figura 4.30 Galvanización del acero de la empresa EVAPCO

- Sistema de distribución de agua de PVC.

Otra parte importante de un condensador evaporativo es el sistema de distribución de agua. Con el fin de dar la máxima transferencia de calor, el serpentín debe ser empapado con agua en todo momento. El sistema EVAPCO hace esto circulando aproximadamente 4 Lt/seg sobre cada metro cuadrado de la superficie del serpentín. El sistema de distribución de agua se simplifica en gran medida en las unidades EVAPCO, con los más grandes difusores de agua ZM no obstruidos disponibles para condensadores evaporativos.

Los difusores ZM se enroscan en el cabezal de distribución de agua para asegurar el correcto posicionamiento. Además, un collar en el difusor se extiende en el cabezal y actúa como un anillo anti-lodo para reducir la necesidad de mantenimiento (Ver Figura 4.31). Esta unidad tiene una Excelente inundación del serpentín que se mantiene en todo momento sin numerosas pequeñas boquillas de orificio. Para la protección contra la corrosión, los difusores ZM están fabricados en nylon resistente reforzado con fibra de vidrio para una vida útil prolongada y una resistencia al 100% de la corrosión. Los tubos de distribución son de cloruro de polivinilo (PVC) no corrosivo (Evapco, 2011).



Figura 4.31 Boquilla de pulverización ZM

Condensadores evaporativos 1 y 2 (Ver Figura 4.32)

- ✓ Marca: Evapco.
- ✓ Modelo: LSCB-48.
- ✓ Refrigeración por aire y agua.

Características de operación.

- ✓ Flujo de aire: 21760 m³/h.
- ✓ Velocidad: 660 rpm.
- ✓ Motor blower

Son condensadores evaporativos de iguales características, mismo fabricante y modelo.



Figura 4.32 Condensadores evaporativos Evapco

4.3.2.2 Condensadores evaporativos BALTIMORE

- Información general de mantenimiento.

Los servicios requeridos para mantener esta unidad en óptimas condiciones es la calidad del aire y del agua en el lugar donde se instala la unidad:

AIRE: La unidad debe estar ubicada de tal forma que no entren cantidades inusuales de humo industrial, humos químicos, sal o polvo pesado en el equipo. Estas impurezas en el aire entran en el equipo y son absorbidas por el agua recirculante, que puede formar una solución corrosiva.

AGUA: A medida que el agua se evapora del equipo, los sólidos disueltos que originalmente estaban contenidos en el agua se dejan atrás. Estos sólidos disueltos pueden ser alcalinos o ácidos y al estar concentrados en el agua en circulación, pueden provocar incrustaciones o acelerar la corrosión ([Baltimore Aircoil Company, 2016](#)).

- Depósito de agua fría.

A medida que el agua que circula a través de la torre de refrigeración se enfría, se recoge en el depósito de agua fría y pasa a través del filtro de succión al sistema. El

depósito de agua fría está construido a partir de uno de los siguientes materiales de construcción y el siguiente mantenimiento se aplica a todos los materiales de construcción del depósito:

- Acero galvanizado.
- Sistema de Protección contra Corrosión TriArmor.
- Acero inoxidable soldado tipo 304.
- Ventilador.

La torre de enfriamiento de esta unidad utiliza un ventilador axial. Es necesario inspeccionar minuciosamente el ventilador en busca de las hojas del ventilador dañadas o deterioradas y reemplace el ventilador según sea necesario ([Baltimore Aircoil Company, 2016](#)).

- Protección contra la corrosión.

Los productos BAC están fabricados con materiales resistentes a la corrosión. El relleno está hecho de un cloruro de polivinilo (PVC), que no es susceptible a la putrefacción, la descomposición, el óxido o el ataque biológico. Otros materiales enumerados a continuación se utilizan en la construcción del equipo:

- Componentes de acero galvanizado.
- Componentes de polímeros híbridos termoestables.
- Componentes de acero inoxidable.
- Componentes de poliéster reforzado con fibra de vidrio (FRP).
- Sistema de protección contra la corrosión TriArmor.
- Poliéster reforzado con fibra de vidrio pultrudada (PFRP) ([Baltimore Aircoil Company, 2016](#)).

Condensador evaporativo 3 (Ver Figura 4.33)

- ✓ Marca: Baltimore aircoil (B.A.C.).
- ✓ Modelo: VC1-100-R.
- ✓ Serial: R97191159.
- ✓ Refrigeración por aire y agua.

Características Motor ventilador.

- ✓ Potencia: 7,5 HP.
- ✓ Fases: 3
- ✓ Frecuencia: 60 Hz.
- ✓ Velocidad: 1745 rpm.



Figura 4.33 Condensador evaporativo Baltimore Aircoil

Condensador evaporativo 4 (Ver Figura 4.34)

- ✓ Marca: Baltimore aircoil (B.A.C.).
- ✓ Modelo: VMC-50A.
- ✓ Serial: 771390.
- ✓ Refrigeración por aire y agua.

Características de operación.

- ✓ Flujo de aire: **124000 m³/h.**
- ✓ Velocidad: 1200 rpm.



Figura 4.34 Condensador evaporativo Baltimore Aircoil

4.3.2.3 Tanques de almacenamiento del amoníaco.

Los tanques recibidores con los que consta todo el sistema de frío, manejan presiones de 165 psi en la línea de los compresores de pistón y en la línea del compresor de tornillo (Ver Figura 4.35). Debido a las grandes presiones que se manejan es necesario utilizar el limite indicado para el llenado del tanque con el amoníaco (Ver Figura 4.36).

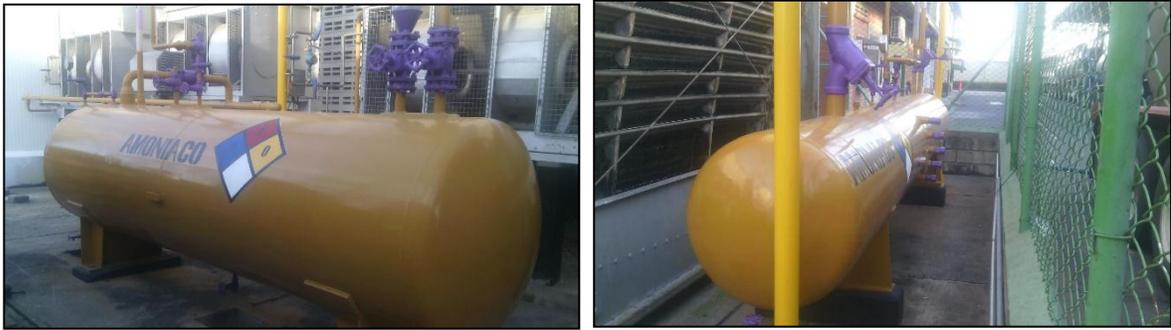


Figura 4.35 Tanques de almacenamiento del amoníaco (NH_3)

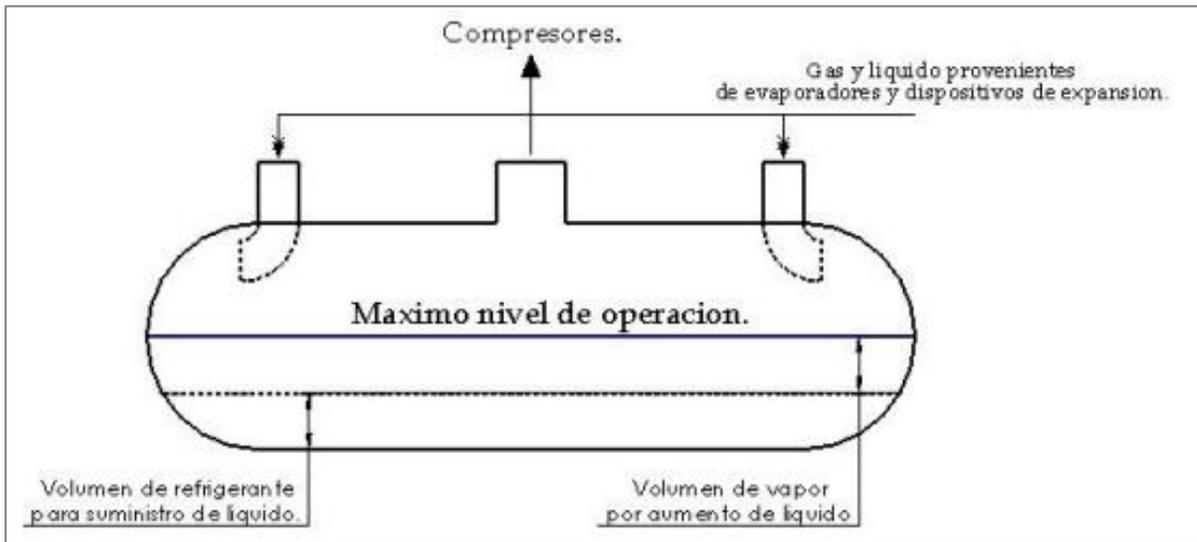


Figura 4.36 Máximo nivel de llenado de los tanques de almacenamiento de amoníaco.

4.3.2.4 Bombas en operación.

La recirculación de agua fría comienza en los depósitos o bancos de hielo, el agua es impulsada por una serie de bombas centrífugas con diferentes características de operación (Ver Figura 4.37).



Figura 4.37 Bombas para el suministro del agua "fría"

Bomba agua fría de bancos a chiller (1).

- ✓ Marca: Hidromac.
- ✓ Modelo: HS5B STO. 09.
- ✓ Caudal Max: 1800 L/h.

Motor.

- ✓ Motor trifásico.
- ✓ Marca: Siemens.
- ✓ Modelo: YC60.
- ✓ Potencia: 2 HP (1,5 KW).
- ✓ Velocidad: 1122 rpm.

Bomba agua fría auxiliar recibo (2).

- ✓ Marca: Hidromac.
- ✓ Modelo: Qc 218 md.
- ✓ Caudal Max.:25000 L/h

Motor.

- ✓ Motor trifásico.
- ✓ Marca: Siemens.
- ✓ Modelo: YB70.
- ✓ Potencia: 3 HP (2,2 KW).
- ✓ Velocidad: 2900 rpm.

Bomba agua fría principal recibo (3).

- ✓ Marca: Hidromac.
- ✓ Modelo: C218 md25 ts-h.
- ✓ Caudal Max.:25000 L/h

Motor.

- ✓ Motor trifásico.
- ✓ Marca: Siemens.
- ✓ Modelo: 4YB.
- ✓ Potencia: 18 HP (13,4 KW).
- ✓ Velocidad: 1730 rpm.

Bomba agua fría de bancos a isla (4).

- ✓ Marca: IHM.
- ✓ Modelo: 5X20 SM.
- ✓ Caudal Max.: 45000 L/h.

Motor.

- ✓ Motor trifásico.
- ✓ Marca: Siemens.
- ✓ Modelo: 4YB 60.
- ✓ Potencia: 5 HP (13,4 KW).
- ✓ Velocidad: 1750 rpm.

Bomba agua fría proceso mantequilla (5).

- ✓ Marca: Hidromac.
- ✓ Modelo: GB 2BX-1/2X-9.
- ✓ Caudal Max.: 18000 L/h.

Motor.

- ✓ Motor trifásico.
- ✓ Marca: US motors.
- ✓ Modelo: 213JM.
- ✓ Potencia: 7,5 HP (13,4 KW).
- ✓ Velocidad: 1745 rpm.

4.3.2.5 *Válvulas en operación.*

Una válvula se puede definir como un dispositivo mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o ductos. Son unos de los instrumentos de control más esenciales en la industria. Debido a su diseño y materiales, las válvulas pueden abrir y cerrar, conectar y desconectar, regular, modular o aislar una enorme serie de líquidos y gases, desde los más simples hasta los más corrosivos o tóxicos. Sus tamaños van desde una fracción de pulgada hasta 30ft (9m) o más grandes. Pueden trabajar con presiones que van desde el vacío hasta más de 20000lb/in² (140Mpa) y temperaturas desde las criogénicas hasta 1500°F (815°C). En algunas instalaciones se requiere un sellado absoluto; en otras, las fugas o escurrimientos no tienen importancia ([PACHANO A. & PEREZ R. , 2006](#)).

4.3.2.5.1 *Válvula de retención (Check Valve).*

Es utilizada para no dejar regresar un fluido dentro de una línea (*Ver Figura 4.38*). Esto implica que cuando las bombas son cerradas para algún mantenimiento o simplemente la gravedad hace su labor de regresar los fluidos hacia abajo, esta válvula se cierra instantáneamente dejando pasar solo el flujo que corre hacia la dirección correcta. Por eso también se les llama válvulas de no retorno. Obviamente que es una válvula unidireccional y que debe de ser colocada correctamente para que realice su función usando el sentido de la circulación del flujo que es correcta ([SC Fluids, 2009](#)).



Figura 4.38 *Válvula de retención ó Check Valve*

4.3.2.5.2 Válvula de compuerta (Gate Valve).

Las válvulas de compuerta se utilizan principalmente para dejar pasar o no un fluido (ON-OFF) y no están diseñadas para regularlo lo que indica que deben estar completamente abiertas o completamente cerradas para que sus interiores (asiento y cuña) no sean desgastados prematuramente por el fluido y su presión y así evitar que tenga fugas (Ver Figura 4.39). Las válvulas de compuerta son bidireccionales y de paso completo, también pueden ser con vástago fijo o vástago saliente según los espacios que se tienen disponibles en las líneas para su instalación (SC Fluids, 2009).



Figura 4.39 Válvula de compuerta ó Gate Valve

4.3.2.5.3 Válvula de bola (Ball Valve).

En la válvula de bola un macho esférico agujereado controla la circulación del líquido. El sellado en válvulas de bola es excelente, la bola contacta de forma circunferencial y uniforme el asiento, el cual suele ser de materiales blandos. Las aplicaciones más frecuentes de la válvula de bola son de obertura/cierre. No son recomendables usarlas en servicios de parcialmente abiertas por un largo tiempo bajo condiciones de alta caída de presión a través de la válvula, ya que los asientos blandos pueden tener tendencia a salir de su sitio y obstruir el movimiento de la bola (Ver Figura 4.40) (Valvias, 2008).



Figura 4.40 Válvula de bola ó Ball Valve

4.3.2.5.4 Válvula de seguridad (Safety Valve).

Son las destinadas a evacuar el exceso de refrigerante a la atmósfera. Son instaladas para aliviar sobrepresiones accidentales que pudiesen presentarse y prevenir accidentes. Su ubicación dentro del circuito frigorífico se da principalmente en las líneas del compresor y recipientes a presión, entre otras. (Ver Figura 4.41) (EcuRed, 2004).



Figura 4.41 Válvula de seguridad ó Safety Valve

4.3.2.5.5 Válvula de globo (Globe Valve).

Las válvulas tipo globo a diferencia de las válvulas de compuerta, permiten aplicarlas en regulación de fluidos y realizan un cierre hermético cuando cuenta con un asiento flexible.

En esta clase de válvulas el fluido no corre de manera directa y en una sola dirección como lo hacen en las válvulas de compuerta, sino que el fluido entra y sube dentro del cuerpo de la válvula, es estrangulado por el embolo según qué tan abierta o cerrada se encuentre la válvula, y después baja el fluido hacia la salida de la válvula. En las válvulas globo, el fluido hace un movimiento de columpio dentro donde choca con el embolo que regula cuanto fluido debe de pasar por la válvula (Ver Figura 4.42) (SC Fluids, 2008).



Figura 4.42 Válvula de globo ó Globe Valve

4.3.2.5.6 Válvula de cuchilla (Blade Valve).

Las válvulas de cuchilla son consideradas como tipo compuerta ya que tienen una lámina en su interior que sube y baja con un vástago y que permite realizar un “CORTE” al fluido de manera sencilla. Las válvulas de cuchilla son diseñadas para operarlas en condiciones donde el fluido contiene un alto grado de sólidos y que con cualquier otra válvula no podría cerrarse (Ver Figura 4.43) (SC Fluids, 2010).



Figura 4.43 Válvula de cuchilla ó Blade Valve

4.3.3 Operación Del Sistema.

El principio de funcionamiento del sistema tipo banco de hielo básicamente incluye una unidad de almacenamiento térmico, un sistema de refrigeración, controles y en el caso de la planta una serie de bombas de agua, el esquema generalizado se muestra en la Figura 4.44.

Cuando no existe carga de refrigeración, el sistema funciona para crear hielo en la superficie exterior de los serpentines de la unidad de almacenamiento, para aumentar la

transferencia de calor durante el ciclo de formación de hielo el agua es agitada por burbujas de aire inyectadas, en la unidad de almacenamiento.

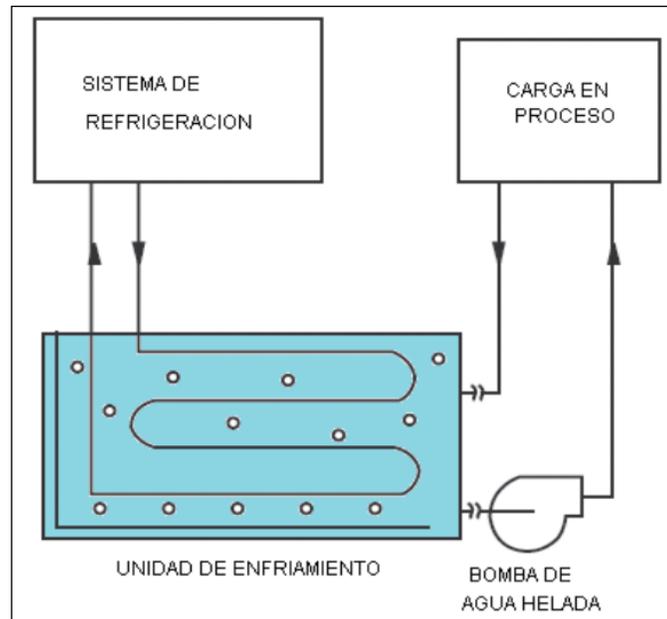


Figura 4.44 Esquema general de bancos de hielo.

La planta pulverizadora cuenta con tres unidades de almacenamiento (bancos de hielo), en el sistema de refrigeración por amoníaco con compresores de pistón y un sistema de enfriamiento de agua (chiller), el cual enfría el agua haciéndola pasar por las cortinas por donde circula el refrigerante (NH_3), el sistema chiller consta de un compresor monotornillo. Ambos sistemas están conectados para trabajar en serie en los diferentes procesos.

El sistema de refrigeración de la planta procesadora de la Cooperativa Colanta S.A. trabaja continuamente las 24 horas del día, como se ha mencionado el sistema es parte fundamental en el proceso de pasterización y en el secado de leche en polvo, así como en el almacenamiento de leche en los silos y la producción de Tampico.

Si el sistema falla puede causar paradas en los procesos, generando atraso en la producción, pérdida de dinero y la confiabilidad en la empresa.

Aunque el sistema trabaja continuamente, todos sus equipos no lo hacen de la misma manera, ya que las cargas generadas se manejan de forma intermitente a través un circuito electroneumático.

La operación de los equipos en el sistema de enfriamiento puede ser variada dependiendo del frío requerido por los procesos en la planta, por ejemplo en tiempo en que la demanda de frío para recibo de leche en cantinas es mayor, esto obliga a

programar el sistema en la “posición 3”, y tendremos trabajando la demanda de frío para el proceso de recibo solo con los bancos de hielo, por lo que el chiller trabajaría de manera independiente para los procesos de recibo de leche en carrotanques, silos, pulverización, mantequilla y pasterización.

En otro caso tenemos la “posición 1”, en la que solo trabajan los bancos de hielo para los diferentes procesos, esto porque la demanda de frío es soportada por los bancos. (Ver Figura 4.45)

CIRCUITO DE AGUA FRIA	VALVULA								
	POSICION SWITCH	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
OFF	0	NC							
	1	A	A	A	A	NC	NC	NC	NC
	2	NC	A	A	NC	A	A	NC	NC
	3	A	NC	A	NC	NC	NC	A	A
	4	NC	A	A	A	NC	A	NC	NC

NC = NORMALMENTE CERRADO
 A = ABIERTA
 B = BANCOS DE HIELO
 C = CHILLER
 R = RECIBO DE LECHE
 P = SILOS, ISLA CARROTANQUE Y CREMA DE LECHE
 = FLUJO UNIDIRECCIONAL
 = FLUJO BIDIRECCIONAL

Figura 4.45 Estado de las válvulas según posición del switch.

El compresor de pistón 2 se encuentra fuera de servicio, por lo que los compresores 1 y 3 trabajan en conjunto y en paralelo para garantizar el buen funcionamiento del sistema, y abastecer del frío requerido los procesos.

4.3.4 Equipos Que Consumen Frío.

En la planta procesadora se manejan parámetros de temperatura que garanticen la inocuidad en cada uno de los puntos de procesos en la planta, por lo tanto, cuenta con equipos para intercambiar y/o introducir el frío requerido en cada punto de la línea del proceso.

La mayoría de las cargas requeridas son por intercambiadores de calor de placas (de diversas marcas) y pasteurizadores, y el ventilador deshumidificador. Estos son los diferentes equipos con consumo de frío:

4.3.4.1 Generalidades de los intercambiadores de calor ALFA LAVAL.

Este equipo está formado por varios conjuntos de placas y su bastidor. En la Figura 4.46 se muestran los componentes habituales de un intercambiador de calor placas

planas (*Esta descripción general aplica a los demás intercambiadores de marca ALFA LAVAL*).

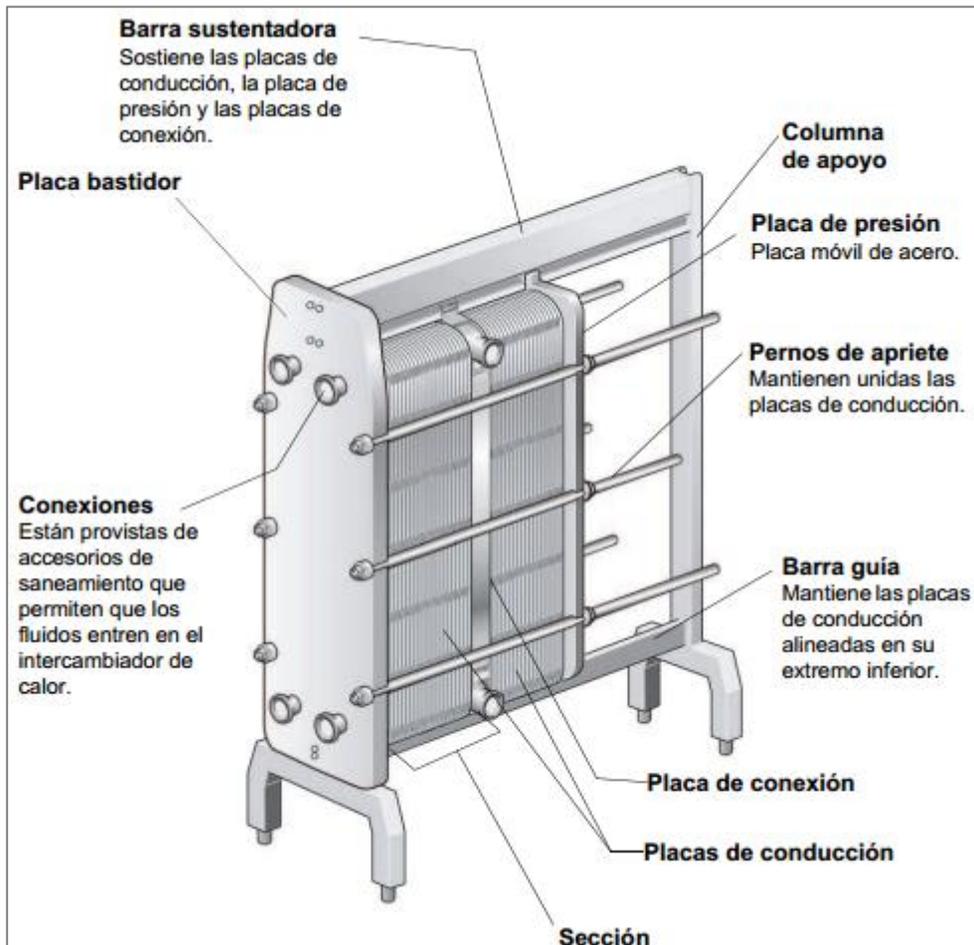


Figura 4.46 Partes fundamentales del intercambiador de calor de placas

El intercambiador de calor de placas consta de un conjunto de placas metálicas acanaladas que cuentan con orificios destinados a permitir el paso de los dos fluidos entre los que se realiza la transferencia de calor. Las placas están provistas de una junta estanca que sella el canal y envía los fluidos a otros canales. El conjunto de placas está ensamblado entre una placa bastidor y otra de presión, y se mantiene unido mediante los pernos de apriete. Entre las placas del intercambiador de calor se forman canales y los orificios de las esquinas están dispuestos de manera que los dos líquidos circulan por canales alternos (*Ver Figura 4.47*). El calor se transfiere por la placa entre los canales. Para obtener la mayor eficacia posible, se crea un flujo completo a contracorriente. El acanalado de las placas permite el paso entre las mismas, sujeta cada placa con la placa adyacente y aumenta la turbulencia (ALFA LAVAL, 2008).

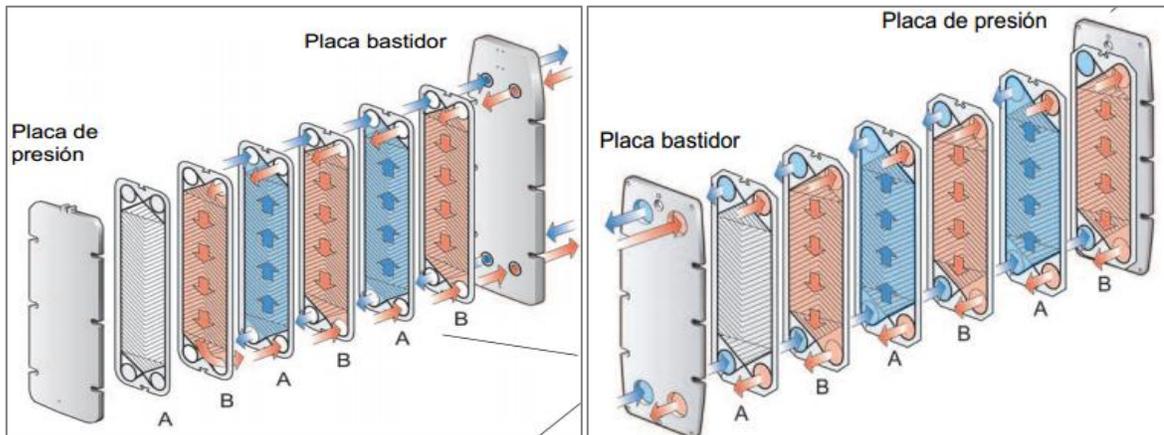


Figura 4.47 Explosionado del intercambiador de calor de placas planas

- Tuberías.

Las tuberías se ajustan de tal modo que no se transfiera tensión al intercambiador de calor. Las tuberías que están conectadas con la placa de presión y con las placas de conexión deben mantener una distancia de $\pm 1\%$ entre la conexión y la placa bastidor.

- Izado del equipo.

Principalmente se debe tener en cuenta el centro de gravedad que está señalado en los lados de la cubierta, una vez extraído el equipo se debe tener en cuenta que no se levante el equipo por las conexiones o los espárragos que las rodean. Deben utilizarse correas para izar el equipo. Coloque las correas como se muestra en la [Figura 4.48 \(ALFA LAVAL, 2008\)](#).

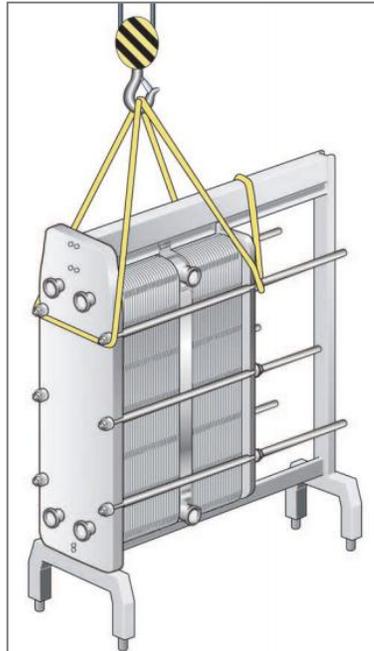


Figura 4.48 Forma correcta del izado del intercambiador de calor

4.3.4.2 Generalidades de los intercambiadores SONDEX.

- *Bastidor*

El intercambiador se compone de un bastidor con placa frontal fija (Head), placa de cierre móvil (Follower), barras guías superior (upper), inferior (lower) y apoyo column). Tornillos, tuercas y arandelas de apriete (tie bolts). Estos variarán y serán de diferentes materiales en función de la aplicación (Ver Figura 4.49) (SONDEX HOLDING, 2013).

- *Placas*

Las placas de los intercambiadores tienen estampadas canales que permiten el paso de los fluido y fijación de las juntas. El tamaño, combinación y números de placas dependerán de las condiciones de temperaturas. de salida requeridas. En función del fluido los materiales serán diferentes, siendo los más comunes AISI 316, Titanio, SMO etc. (Ver Figura 4.49) (SONDEX HOLDING, 2013)

- *Juntas*

En los canales de las placas se incorporan las juntas cuya misión es la independización de los circuitos y evitar las fugas al exterior. Las juntas se seleccionan para adaptarse a la temperatura y características químicas de los fluidos. Es posible estudiar otras consideraciones para adaptarse a necesidades específicas. Las juntas pueden ser de Viton, Nitrilo, EPDM, etc. (Ver Figura 4.49) (SONDEX HOLDING, 2013).

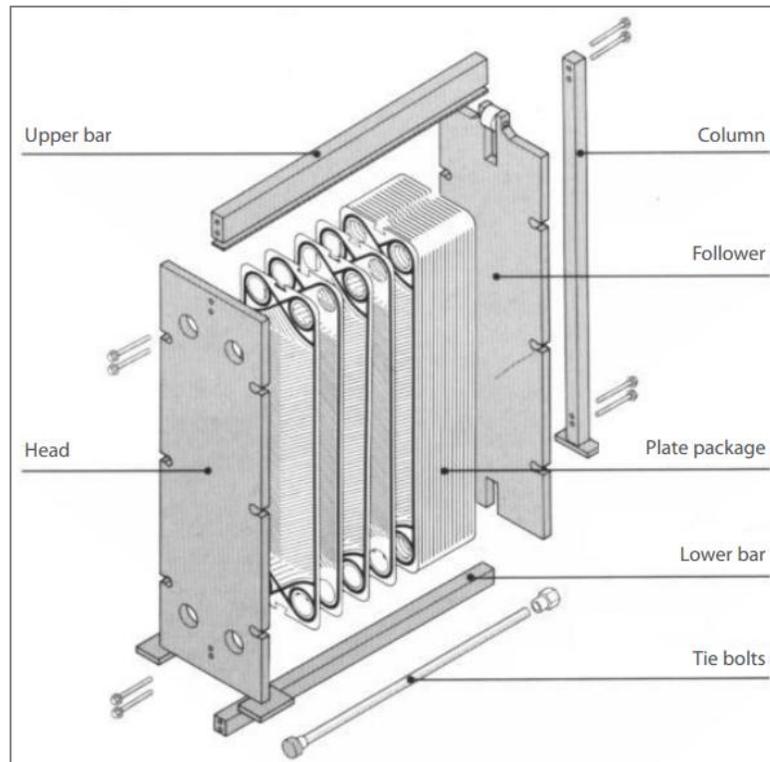


Figura 4.49 Explosionado general de los intercambiadores SONDEX

- *Tipos de placas.*

Los diferentes tipos de placas son:

- *Placa primera con junta (Ver Figura 4.51).*
- *Placa orientación izquierda (L) con junta (Ver Figura 4.52).*
- *Placa orientación derecha (R) con junta (Ver Figura 4.53).*
- *Placa ultima con junta (Ver Figura 4.54).*
- *Placa tipo "L" gran capacidad de intercambio (Ver Figura 4.55).*
- *Placa tipo "K" de baja capacidad de intercambio (Ver Figura 4.56).*

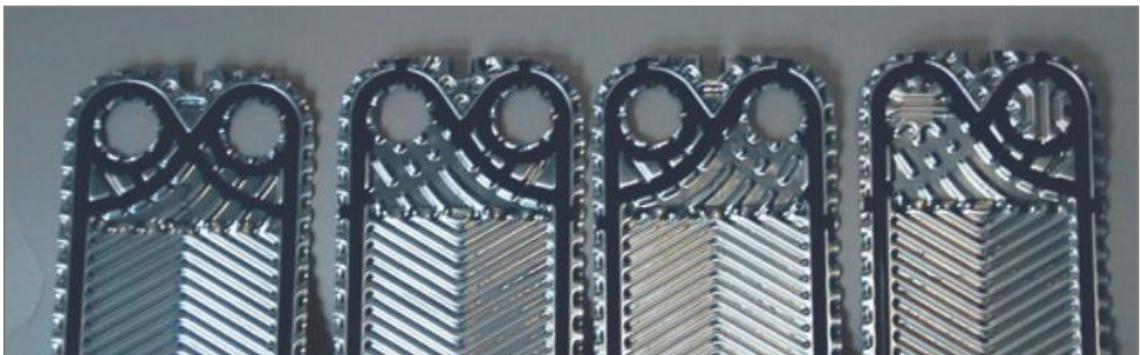


Figura 4.50 Tipos de placas para los intercambiadores SONDEX



Figura 4.51 *Placa primera con junta*



Figura 4.52 *Placa orientación izquierda (L) con junta*



Figura 4.53 *Placa orientación derecha (R) con junta*



Figura 4.54 *Placa ultima con junta*



Figura 4.55 Placa tipo "L" gran capacidad de intercambio

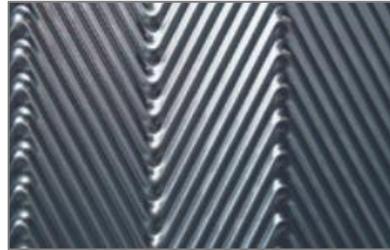


Figura 4.56 Placa tipo "K" de baja capacidad de intercambio

- Izado del equipo.

Para prevenir riesgos de accidente utilice siempre equipos de elevación apropiados. Si desea elevar el intercambiador directamente, se deben de emplear eslingas. Deben ser sujetas en los puntos como se muestra en *Figura 4.57* y *Figura 4.58*.

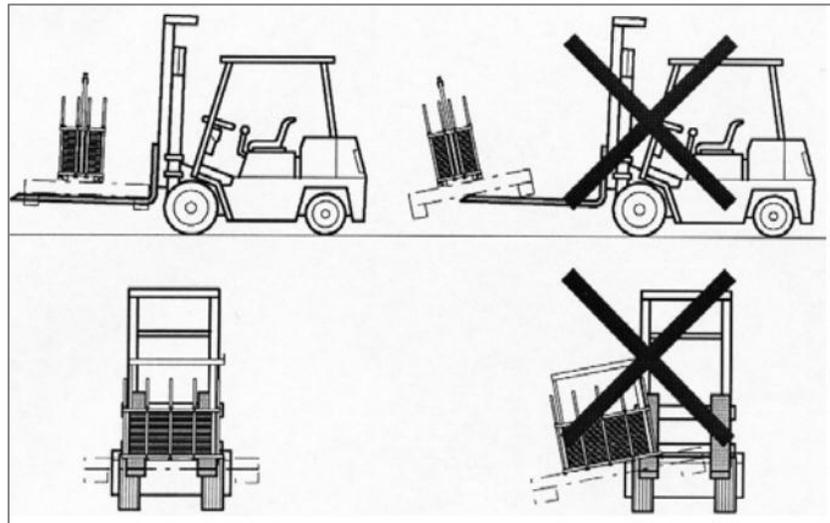


Figura 4.57 Forma correcta e incorrecta del transporte del intercambiador

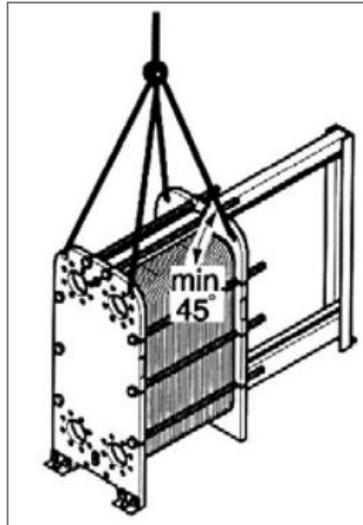


Figura 4.58 Forma correcta de izar directamente el intercambiador

4.3.4.3 Generalidades de los intercambiadores FISCHER.

La placa frontal del BPHE de SWEP está marcada con una flecha, ya sea tipo pegatina o grabada en la placa de cubierta. La función de esta marca es indicar la cara frontal del BPHE y la ubicación de los circuitos/canales interiores y exteriores. Si la flecha está apuntando hacia arriba, la parte izquierda (conexiones F1, F3) será el circuito interior y la parte derecha (conexiones F2, F4) será el circuito exterior. Las conexiones F1/F2/F3/F4 están situadas en la parte delantera del intercambiador de calor. Las conexiones P1/P2/P3/P4 están situadas en la parte trasera. Fíjese en el orden en el que aparecen (Ver Figura 4.59) ([swep, 2015](#)).

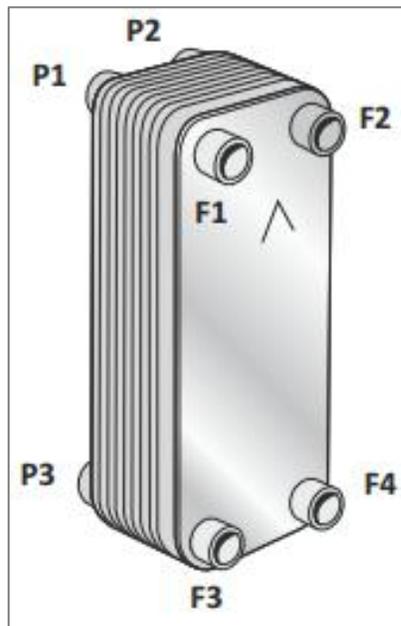


Figura 4.59 Esquema de ubicación del intercambiador

- *Configuraciones del flujo.*

Los fluidos pueden pasar a través del intercambiador de calor de diferentes maneras. Para un BPHE de flujo paralelo, hay dos configuraciones diferentes de flujo como se muestra en la figura (swep, 2015):

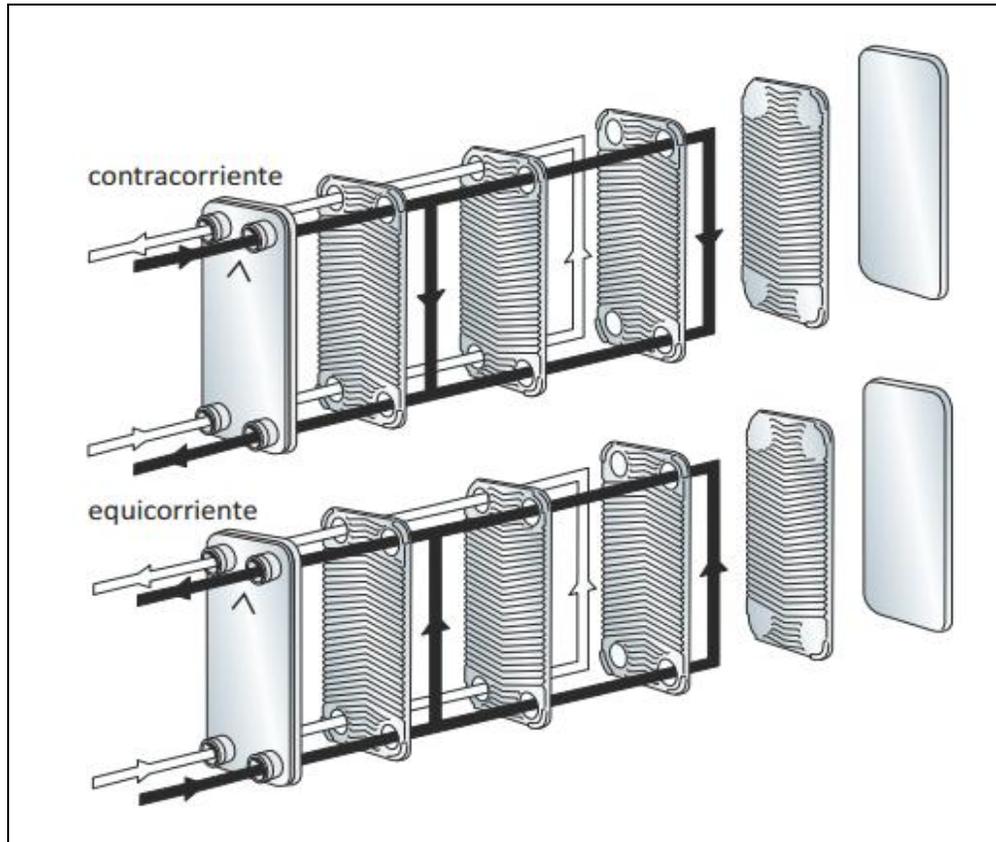


Figura 4.60 Configuraciones del flujo en el intercambiador

- *Izado del equipo.*

El proveedor da las instrucciones para el correcto izado del equipo, además, se debe mantener una distancia de 3m (Ver Figura 4.61):

- Elevación en posición horizontal.
- Elevación de posición horizontal a posición vertical.
- Elevación en posición vertical.

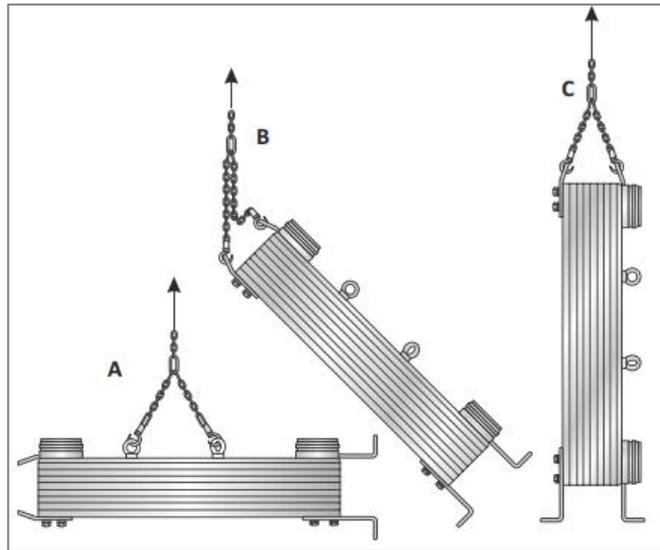


Figura 4.61 Correcto izado del equipo

No exponga nunca la unidad a pulsaciones, a una presión cíclica o saltos térmicos excesivos. También es importante que no se transfiera ninguna vibración al intercambiador de calor. Si hay algún riesgo de que esto ocurra, instale amortiguadores de vibraciones. Para diámetros grandes de conexión, le aconsejamos que utilice un dispositivo de expansión en el conducto. También le aconsejaríamos que utilizara, por ejemplo, una tira de goma de montaje como amortiguador de choques entre el BPHE y la abrazadera de montaje ([swep, 2015](#)).

4.3.4.4 *Enfriador de Placas Recibo Carrotanques (Isla).*

Su función es llevar a la temperatura requerida la materia prima que es transportada en los carrotanques. La leche proveniente de los carrotanques entra al intercambiador a una temperatura promedio de 7°C y este deberá ser capaz de reducir su temperatura a aproximadamente a 4°C, para ser enviada a los silos de almacenamiento, en caso que haya necesidad de mantener la temperatura de almacenamiento en los silos, se recircula la leche a través del intercambiador para conservar el “frío” requerido (Ver *Figura 4.62*).



Figura 4.62 Intercambiador de placas planas Alfa Laval M10-MBASE

➤ **Características (Ver Figura 4.62).**

- ✓ Marca: Alfa Laval.
- ✓ Modelo: M10-MBASE. Año: 2013
- ✓ Capacidad de flujo del agua: 30000 L/h.
- ✓ Capacidad de flujo de la leche: 20000 L/h.
- ✓ Temperatura entrada agua fría: 1°C.
- ✓ Temperatura entrada leche cruda: 8°C.
- ✓ Temperatura salida leche cruda: 4°C.

4.3.4.5 *Enfriador de placas para crema cruda.*

La crema que es separada en la etapa de clarificación y estandarización, es impulsada a este enfriador para llevarla a una temperatura requerida y ser almacenada en los tanques de maduración (Ver Figura 4.63).



Figura 4.63 Intercambiador de placas planas SondexA/S S20A FG16 S4TL

➤ **Características (Ver Figura 4.63).**

- ✓ Marca: Sondex A/S.
- ✓ Modelo: S20A FG16 S4TL.
- ✓ Capacidad de flujo del agua: 22572 L/h.
- ✓ Capacidad de flujo de la leche: 1800 L/h.
- ✓ Temperatura de agua fría: 1°C.
- ✓ Temperatura entrada crema cruda: 30°C.
- ✓ Temperatura salida crema cruda: 8°C.

4.3.4.6 *Enfriador de placas de leche cruda en recibo de leche.*

Luego de ser pesada la leche, es descargada al tanque receptor donde es sometida a un filtrado en una malla donde se recogen las partículas de mayor tamaño. La leche que llega a una temperatura aproximadamente de 30°C es enfriada hasta llegar a una temperatura por debajo de 4°C (Ver Figura 4.64).

➤ **Características (Ver Figura 4.64).**

- ✓ Marca: Alfa Laval.
- ✓ Modelo: M10-MBASE.
- ✓ Capacidad de flujo del agua: 28000 L/h
- ✓ Capacidad de flujo de la leche: 22000 L/h
- ✓ Temperatura entrada de leche cruda: 30°C.
- ✓ Temperatura de salida leche cruda: 4°C.



Figura 4.64 Intercambiador de placas planas Alfa Laval M6-MBASE

4.3.4.7 *Enfriador de placas para suero.*

Paralelo a la producción de mantequilla se produce suero como subproducto del proceso (Ver Figura 4.65).



Figura 4.65 Enfriador de placas planas Fischer EUROCAL a-2483

➤ **Características (Ver Figura 4.65).**

- ✓ Marca: Fischer.
- ✓ Modelo: Eurocal a-2483.
- ✓ Capacidad de flujo del agua: 18000 L/h.
- ✓ Capacidad de flujo de la leche: 1800 L/h.
- ✓ Temperatura de entrada producto: 13°C
- ✓ Temperatura de salida producto: 6°C.

4.3.4.8 Pasteurizador de la sala de pasterización.

En el proceso de pasterización se somete la leche cruda a temperatura de 73 a 76°C por un tiempo determinado de 15±1 segundo y luego es enfriado hasta llegar a una temperatura de 2°C±4°C, con este choque térmico se logra eliminar agentes patógenos en el producto final (Ver Figura 4.66).



Figura 4.66 Pasteurizador TETRA PAK C8-sr

➤ **Características (Ver Figura 4.66).**

- ✓ Marca: Tetra pak.
- ✓ Modelo: C8-sr.
- ✓ Capacidad de flujo del agua: 25200 L/h.
- ✓ Capacidad de flujo de la leche: 10000 L/h.
- ✓ Temperatura de entrada de pasteurización: 74,5°C.
- ✓ Temperatura de salida de pasteurización: 5°C.
- ✓ Tiempo: 15 segundos.

4.3.4.9 Pasteurizador de crema.

La crema de leche cruda y fría se pasteuriza para garantizar la destrucción total de los microorganismos patógenos presentes, y se envía la crema pasteurizada a los tanques de almacenamiento a una baja temperatura (Ver Figura 4.67).



Figura 4.67 Pasteurizador Gea VT20CDL C10

➤ **Características (Ver Figura 4.67).**

- ✓ Marca: Gea
- ✓ Modelo: VT 20 CDL C10.
- ✓ Capacidad de flujo del agua: 25000 L/h.
- ✓ Capacidad de flujo de la leche: 1800 L/h.
- ✓ Temperatura de entrada de pasteurización: 93,5°C.
- ✓ Temperatura de salida de pasteurización: 6°C.

4.3.4.10 Deshumidificador de aire.

El secado de leche se desarrolla en un vibrofluidizador al cual entra aire filtrado deshumidificado, éste es aire inyectado a través de un ventilador deshumidificador, el cual posee un filtro y un sistema de secado de aire por medio del flujo de agua fría.

El deshumidificador es un aparato para la extracción de humedad, en este caso del aire, su principio de funcionamiento es por condensación. El aire húmedo es aspirado, filtrado y se hace pasar a través de un evaporador (en este caso, el evaporador es un serpentín por donde circula agua fría), donde se enfría por debajo de su temperatura de rocío, de esta forma la humedad contenida en el aire es condensada y almacenada, en forma de agua en la bandeja de condensación de donde es evacuada a la tubería de desagüe (Ver Figura 4.68).



Figura 4.68 Deshumidificador de aire A. FACCINI & CIA AH 2011

- **Características (Ver Figura 4.68).**
- ✓ Marca: A. Faccini & Cia.
- ✓ Modelo: AH 2011.
- ✓ Capacidad de flujo del agua: 23000 L/h.
- ✓ Capacidad de flujo del aire: 3303 L/h.
- ✓ Velocidad: 1870 rpm.
- ✓ N° Serie: 4900.
- ✓ Temperatura de salida del aire: 3°C.
- ✓ Temperatura de entrada del aire: 38°C.

5 ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

5.1 ESPECIFICACION DE LOS REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

Concierne al cálculo de cargas térmicas transitorias de los 7 equipos en los diferentes procesos que se llevan a cabo y los subsistemas que intervienen en el buen funcionamiento del sistema en la planta.

- Enfriador de Placas Recibo Carrotanques (Isla).

- Enfriador de placas para crema cruda.
- Enfriador de placas de leche cruda en recibo de leche.
- Enfriador de placas para suero.
- Pasterizador de la sala de pasterización.
- Pasterizador de crema.
- Deshumidificador de aire.

5.2 CALCULO DE LAS CARGAS TERMICAS EN LOS EQUIPOS QUE CONSUMEN FRIO.

Para el estudio de las cargas de refrigeración requeridas por la planta debido a los diferentes procesos que se llevan a cabo, se hará un seguimiento y una serie de consideraciones, discriminando uno a uno los procesos y las actividades que influyan en una u otra forma sobre las cargas térmicas generadas.

Para el cálculo de las cargas térmicas en los enfriadores (*Intercambiadores de calor de placas*), se hizo uso del método de aforo para la medición del caudal o flujo volumétrico y para medir la temperatura se usó un termómetro digital laser; el cálculo del caudal se realiza de esta forma debido a que la empresa no cuenta con caudalímetros para dicha medición.

Ecuación 8

$$\dot{Q}_T = \dot{Q}_1 + \dot{Q}_2 + \dot{Q}_3 + \dot{Q}_4 + \dot{Q}_5 + \dot{Q}_6 + \dot{Q}_7 + \dot{Q}_8$$

Ecuación 9

$$T_{AFT} = T_{AF1} + T_{AF2} + T_{AF3} + T_{AF4} + T_{AF5} + T_{AF6} + T_{AF7} + T_{AF8}$$

5.2.1 Carga Térmica En El Enfriador De Placas De Recibo De Carrotanques (Isla).

Partimos del flujo másico y otras propiedades termodinámicas de los dos fluidos y las correspondientes temperaturas de entrada y salida del enfriador. La ecuación a utilizar es la siguiente:

Ecuación 10

$$\dot{Q}_1 = \rho_A * \dot{v}_A * C_{pA} * (T_{AF1} - T_{A0}) = \rho_L * \dot{v}_L * C_{pL} * (T_{LF} - T_{L0}) [Kw]$$

$\dot{Q}_1 =$ Carga Térmica del enfriador de placas de recibo de carrotanques. [Kw]

$\rho_A =$ Densidad del agua fría con la que se va a enfriar el producto. $\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$

$\dot{v}_A =$ Flujo volumétrico del agua fría. $\left[\frac{m^3}{seg}\right]$

$C_{pA} =$ Calor específico del agua. $\left[\frac{KJ}{Kg * ^\circ C}\right]$

$T_{AF1} =$ Temperatura de salida del agua. $[^\circ C]$

T_{A_0} = Temperatura de entrada del agua. [°C]

ρ_L = Densidad de la leche. $\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$

\dot{v}_L = Flujo volumétrico de la leche. $\left[\frac{m^3}{seg}\right]$

C_{pL} = Calor específico de la leche. $\left[\frac{KJ}{Kg * ^\circ C}\right]$

T_{LF} = Temperatura de salida de la leche. [°C]

T_{L_0} = Temperatura de entrada de la leche. [°C]

$\dot{Q}_1 = ?$

$\rho_A = 999,89 \text{ Kg}/m^3$

$\dot{v}_A = 0,0083 \text{ m}^3/\text{seg}$

$C_{pA} = 4,213 \text{ KJ}/\text{Kg}^\circ\text{C}$

$T_{AF1} = ?$

$T_{A_0} = 1^\circ\text{C}$

$\rho_L = 1033,5 \text{ Kg}/m^3$

$\dot{v}_L = 0,0055 \text{ m}^3/\text{seg}$

$C_{pL} = 3,882 \text{ KJ}/\text{Kg}^\circ\text{C}$

$T_{LF} = 4^\circ\text{C}$

$T_{L_0} = 8^\circ\text{C}$

El promedio de temperaturas nos permite hallar por tablas los valores correspondientes al calor específico y la densidad del fluido. (Tablas 3.4.3 y 3.10.9 del libro referenciado a continuación (Hayes, 1992)) Ver ANEXOS:

Aplicando la Ecuación 10 en el Enfriador de Placas Recibo Carrotanques (Isla):

$$\dot{Q}_1 = \rho_L * \dot{v}_L * C_{pL} * (T_{LF} - T_{L_0}) \text{ [Kw]}$$

$$\dot{Q}_1 = 1033,5 \text{ Kg}/m^3 * 0,0055 \text{ m}^3/\text{seg} * 3,882 \text{ KJ}/\text{Kg}^\circ\text{C} * (4^\circ\text{C} - 8^\circ\text{C})$$

$$\dot{Q}_1 = - 88,2650 \text{ Kw}$$

El signo negativo dicta el rechazo de calor del proceso.

$$\boxed{\dot{Q}_1 = 25,1 \text{ TR}}$$

$$T_{AF1} = \frac{\dot{Q}_1}{\rho_A * \dot{v}_A * C_{pA}} + T_{A_0}$$

$$T_{AF1} = \frac{88,2650 \text{ KJ}/\text{seg}}{999,89 \text{ Kg}/m^3 * 0,0083 \text{ m}^3/\text{seg} * 4,213 \text{ KJ}/\text{Kg}^\circ\text{C}} + 1^\circ\text{C}$$

$$\boxed{T_{AF1} = 3,52^\circ\text{C}}$$

5.2.2 Carga Térmica En El Enfriador De Placas Para Crema Cruda.

Ecuación 11

$$\dot{Q}_2 = \rho_A * \dot{v}_A * C_{pA} * (T_{AF2} - T_{A_0}) = \rho_L * \dot{v}_L * C_{pL} * (T_{LF} - T_{L_0}) \text{ [Kw]}$$

\dot{Q}_2 = Carga Térmica del enfriador de placas para crema cruda. [Kw]

ρ_A = Densidad del agua fría con la que se va a enfriar el producto. $\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$

$$\dot{v}_A = \text{Flujo volumétrico del agua fría.} \left[\frac{m^3}{seg} \right]$$

$$C_{pA} = \text{Calor específico del agua.} \left[\frac{KJ}{Kg * ^\circ C} \right]$$

$$T_{AF2} = \text{Temperatura de salida del agua.} [^\circ C]$$

$$T_{A0} = \text{Temperatura de entrada del agua.} [^\circ C]$$

$$\rho_L = \text{Densidad de la leche.} \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

$$\dot{v}_L = \text{Flujo volumétrico de la leche.} \left[\frac{m^3}{seg} \right]$$

$$C_{pL} = \text{Calor específico de la leche.} \left[\frac{KJ}{Kg * ^\circ C} \right]$$

$$T_{LF} = \text{Temperatura de salida de la leche.} [^\circ C]$$

$$T_{L0} = \text{Temperatura de entrada de la leche.} [^\circ C]$$

$$\dot{Q}_2 = ?$$

$$\rho_A = 999,89 \text{ Kg}/m^3$$

$$\dot{v}_A = 0,0063 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$C_{pA} = 4,213 \text{ KJ}/\text{Kg}^\circ C$$

$$T_{AF2} = ?$$

$$T_{A0} = 1^\circ C$$

$$\rho_L = 1030,25 \text{ Kg}/m^3$$

$$\dot{v}_L = 0,0005 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$C_{pL} = 3,9218 \text{ KJ}/\text{Kg}^\circ C$$

$$T_{LF} = 8^\circ C$$

$$T_{L0} = 30^\circ C$$

El promedio de temperaturas nos permite hallar por tablas los valores correspondientes al calor específico y la densidad del fluido. (Tablas 3.4.3 y 3.10.9 del libro referenciado a continuación (Hayes, 1992)) Ver ANEXOS:

Aplicando la Ecuación 11 en el Enfriador de placas para crema cruda.:

$$\dot{Q}_2 = \rho_L * \dot{v}_L * C_{pL} * (T_{LF} - T_{L0}) [Kw]$$

$$\dot{Q}_2 = 1030,25 \text{ Kg}/m^3 * 0,0005 \text{ m}^3/\text{seg} * 3,9218 \text{ KJ}/\text{Kg}^\circ C * (8^\circ C - 30^\circ C)$$

$$\dot{Q}_2 = - 44,44 \text{ Kw}$$

El signo negativo dicta el rechazo de calor del proceso.

$$\boxed{\dot{Q}_2 = 12,64 \text{ TR}}$$

$$T_{AF2} = \frac{\dot{Q}_2}{\rho_A * \dot{v}_A * C_{pA}} + T_{A0}$$

$$T_{AF2} = \frac{44,44 \text{ KJ}/\text{seg}}{999,89 \text{ Kg}/m^3 * 0,0063 \text{ m}^3/\text{seg} * 4,213 \text{ KJ}/\text{Kg}^\circ C} + 1^\circ C$$

$$\boxed{T_{AF2} = 2,67^\circ C}$$

5.2.3 Carga Térmica En El Enfriador De Placas De Leche Cruda En Recibo De Leche.

Ecuación 12

$$\dot{Q}_3 = \rho_A * \dot{v}_A * C_{pA} * (T_{AF3} - T_{A0}) = \rho_L * \dot{v}_L * C_{pL} * (T_{LF} - T_{L0}) [Kw]$$

$\dot{Q}_3 =$ Carga Térmica del enfriador de placas de leche cruda en recibo de leche. [Kw]

$\rho_A =$ Densidad del agua fría con la que se va a enfriar el producto. $\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$

$\dot{v}_A =$ Flujo volumétrico del agua fría. $\left[\frac{m^3}{seg}\right]$

$C_{pA} =$ Calor específico del agua. $\left[\frac{KJ}{Kg * ^\circ C}\right]$

$T_{AF3} =$ Temperatura de salida del agua. [$^\circ C$]

$T_{A0} =$ Temperatura de entrada del agua. [$^\circ C$]

$\rho_L =$ Densidad de la leche. $\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$

$\dot{v}_L =$ Flujo volumétrico de la leche. $\left[\frac{m^3}{seg}\right]$

$C_{pL} =$ Calor específico de la leche. $\left[\frac{KJ}{Kg * ^\circ C}\right]$

$T_{LF} =$ Temperatura de salida de la leche. [$^\circ C$]

$T_{L0} =$ Temperatura de entrada de la leche. [$^\circ C$]

$$\dot{Q}_3 = ?$$

$$\rho_A = 999,89 \text{ Kg}/m^3$$

$$\dot{v}_A = 0,0078 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$C_{pA} = 4,213 \text{ KJ}/\text{Kg}^\circ\text{C}$$

$$T_{AF3} = ?$$

$$T_{A0} = 1^\circ\text{C}$$

$$\rho_L = 1030,75 \text{ Kg}/m^3$$

$$\dot{v}_L = 0,0061 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$C_{pL} = 3,9243 \text{ KJ}/\text{Kg}^\circ\text{C}$$

$$T_{LF} = 4^\circ\text{C}$$

$$T_{L0} = 30^\circ\text{C}$$

El promedio de temperaturas nos permite hallar por tablas los valores correspondientes al calor específico y la densidad del fluido. (Tablas 3.4.3 y 3.10.9 del libro referenciado a continuación (Hayes, 1992)) Ver ANEXOS:

Aplicando la Ecuación 12 en el Enfriador de placas de leche cruda en recibo de leche.:

$$\dot{Q}_3 = \rho_L * \dot{v}_L * C_{pL} * (T_{LF} - T_{L0}) [Kw]$$

$$\dot{Q}_3 = 1030,75 \text{ Kg}/m^3 * 0,0061 \text{ m}^3/\text{seg} * 3,9243 \text{ KJ}/\text{Kg}^\circ\text{C} * (4^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})$$

$$\dot{Q}_3 = - 641,53 \text{ Kw}$$

El signo negativo dicta el rechazo de calor del proceso.

$$\boxed{\dot{Q}_3 = 182,42 \text{ TR}}$$

$$T_{AF3} = \frac{\dot{Q}_3}{\rho_A * \dot{v}_A * C_{pA}} + T_{A0}$$

$$T_{AF3} = \frac{182,42 \text{ KJ/seg}}{999,89 \text{ Kg/m}^3 * 0.0078 \text{ m}^3/\text{seg} * 4,213 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}} + 1^\circ\text{C}$$

$T_{AF3} = 6,55^\circ\text{C}$

5.2.4 Carga Térmica En El Enfriador de placas para suero.

Ecuación 13

$$\dot{Q}_4 = \rho_A * \dot{v}_A * C_{pA} * (T_{AF4} - T_{A0}) = \rho_L * \dot{v}_L * C_{pL} * (T_{LF} - T_{L0}) \text{ [Kw]}$$

$\dot{Q}_4 =$ Carga Térmica del enfriador de placas para suero. [Kw]

$\rho_A =$ Densidad del agua fría con la que se va a enfriar el producto. $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right]$

$\dot{v}_A =$ Flujo volumétrico del agua fría. $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{seg}}\right]$

$C_{pA} =$ Calor específico del agua. $\left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}}\right]$

$T_{AF4} =$ Temperatura de salida del agua. [$^\circ\text{C}$]

$T_{A0} =$ Temperatura de entrada del agua. [$^\circ\text{C}$]

$\rho_L =$ Densidad de la leche. $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right]$

$\dot{v}_L =$ Flujo volumétrico de la leche. $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{seg}}\right]$

$C_{pL} =$ Calor específico de la leche. $\left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}}\right]$

$T_{LF} =$ Temperatura de salida de la leche. [$^\circ\text{C}$]

$T_{L0} =$ Temperatura de entrada de la leche. [$^\circ\text{C}$]

$$\dot{Q}_4 = ?$$

$$\rho_A = 999,89 \text{ Kg/m}^3$$

$$\dot{v}_A = 0.005 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$C_{pA} = 4,213 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}$$

$$T_{AF4} = ?$$

$$T_{A0} = 1^\circ\text{C}$$

$$\rho_L = 1032,625 \text{ Kg/m}^3$$

$$\dot{v}_L = 0.0005 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$C_{pL} = 3,8996 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}$$

$$T_{LF} = 6^\circ\text{C}$$

$$T_{L0} = 13^\circ\text{C}$$

El promedio de temperaturas nos permite hallar por tablas los valores correspondientes al calor específico y la densidad del fluido. (Tablas 3.4.3 y 3.10.9 del libro referenciado a continuación (Hayes, 1992)) Ver ANEXOS:

Aplicando la Ecuación 13 en el Enfriador de placas para suero.:

$$\dot{Q}_4 = \rho_L * \dot{v}_L * C_{pL} * (T_{LF} - T_{L0}) [Kw]$$

$$\dot{Q}_4 = 1032,625 \text{ Kg/m}^3 * 0,0005 \text{ m}^3/\text{seg} * 3,8996 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C} * (6^\circ\text{C} - 13^\circ\text{C})$$

$$\dot{Q}_4 = - 14,09 \text{ Kw}$$

El signo negativo dicta el rechazo de calor del proceso.

$$\boxed{\dot{Q}_4 = 4 \text{ TR}}$$

$$T_{AF4} = \frac{\dot{Q}}{\rho_A * \dot{v}_A * C_{pA}} + T_{A0}$$

$$T_{AF4} = \frac{14,09 \text{ KJ/seg}}{999,89 \text{ Kg/m}^3 * 0,0005 \text{ m}^3/\text{seg} * 4,213 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}} + 1^\circ\text{C}$$

$$\boxed{T_{AF4} = 1,67^\circ\text{C}}$$

5.2.5 Carga Térmica En El Pasteurizador de la sala de pasterización.

Ecuación 14

$$\dot{Q}_5 = \rho_A * \dot{v}_A * C_{pA} * (T_{AF5} - T_{A0}) = \rho_L * \dot{v}_L * C_{pL} * (T_{LF} - T_{L0}) [Kw]$$

$\dot{Q}_5 =$ Carga Térmica del enfriador de placas de recibo de carrotanques. [Kw]

$\rho_A =$ Densidad del agua fría con la que se va a enfriar el producto. $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right]$

$\dot{v}_A =$ Flujo volumétrico del agua fría. $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{seg}}\right]$

$C_{pA} =$ Calor específico del agua. $\left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}}\right]$

$T_{AF5} =$ Temperatura de salida del agua. $[^\circ\text{C}]$

$T_{A0} =$ Temperatura de entrada del agua. $[^\circ\text{C}]$

$\rho_L =$ Densidad de la leche. $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right]$

$\dot{v}_L =$ Flujo volumétrico de la leche. $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{seg}}\right]$

$C_{pL} =$ Calor específico de la leche. $\left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}}\right]$

$T_{LF} =$ Temperatura de salida de la leche. $[^\circ\text{C}]$

$T_{L0} =$ Temperatura de entrada de la leche. $[^\circ\text{C}]$

$$\dot{Q}_5 = ?$$

$$\rho_A = 999,89 \text{ Kg/m}^3$$

$$\dot{v}_A = 0,00625 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$C_{pA} = 4,213 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}$$

$$T_{AF5} = ?$$

$$T_{A0} = 1^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned}\rho_L &= 1022,89 \text{ Kg}/\text{m}^3 \\ \dot{v}_L &= 0,0028 \text{ m}^3/\text{seg} \\ C_{p_L} &= 3,8941 \text{ KJ}/\text{Kg}^\circ\text{C}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_{L_F} &= 5^\circ\text{C} \\ T_{L_0} &= 74,5^\circ\text{C}\end{aligned}$$

El promedio de temperaturas nos permite hallar por tablas los valores correspondientes al calor específico y la densidad del fluido. (Tablas 3.4.3 y 3.10.9 del libro referenciado a continuación (Hayes, 1992)) Ver ANEXOS:

Aplicando la Ecuación 14 en el Pasteurizador de la sala de pasterización.:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_5 &= \rho_L * \dot{v}_L * C_{p_L} * (T_{L_F} - T_{L_0}) \text{ [Kw]} \\ \dot{Q}_5 &= 1022,89 \text{ Kg}/\text{m}^3 * 0,0028 \text{ m}^3/\text{seg} * 3,8941 \text{ KJ}/\text{Kg}^\circ\text{C} * (5^\circ\text{C} - 74,5^\circ\text{C}) \\ \dot{Q}_5 &= - 775,14 \text{ Kw}\end{aligned}$$

El signo negativo dicta el rechazo de calor del proceso.

$$\begin{aligned}\dot{Q}_5 &= 220,41 \text{ TR} \\ T_{A_{F5}} &= \frac{\dot{Q}_5}{\rho_A * \dot{v}_A * C_{p_A}} + T_{A_0} \\ T_{A_{F5}} &= \frac{775,14 \text{ KJ}/\text{seg}}{999,89 \text{ Kg}/\text{m}^3 * 0,00625 \text{ m}^3/\text{seg} * 4,213 \text{ KJ}/\text{Kg}^\circ\text{C}} + 1^\circ\text{C} \\ T_{A_{F5}} &= 30,45^\circ\text{C}\end{aligned}$$

5.2.6 Carga Térmica En El Pasteurizador de crema.

Ecuación 15

$$\dot{Q}_6 = \rho_A * \dot{v}_A * C_{p_A} * (T_{A_{F6}} - T_{A_0}) = \rho_L * \dot{v}_L * C_{p_L} * (T_{L_F} - T_{L_0}) \text{ [Kw]}$$

$\dot{Q}_6 =$ Carga Térmica del enfriador de placas de recibo de carrotanques. [Kw]

$\rho_A =$ Densidad del agua fría con la que se va a enfriar el producto. $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right]$

$\dot{v}_A =$ Flujo volumétrico del agua fría. $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{seg}}\right]$

$C_{p_A} =$ Calor específico del agua. $\left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}}\right]$

$T_{A_{F6}} =$ Temperatura de salida del agua. $[\text{}^\circ\text{C}]$

$T_{A_0} =$ Temperatura de entrada del agua. $[\text{}^\circ\text{C}]$

$\rho_L =$ Densidad de la leche. $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right]$

$\dot{v}_L =$ Flujo volumétrico de la leche. $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{seg}}\right]$

$C_{p_L} =$ Calor específico de la leche. $\left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}}\right]$

$T_{L_F} =$ Temperatura de salida de la leche. $[\text{}^\circ\text{C}]$

T_{L_0} = Temperatura de entrada de la leche. [°C]

$$\begin{array}{ll} \dot{Q}_6 = ? & \rho_L = 1019,29 \text{ Kg/m}^3 \\ \rho_A = 999,89 \text{ Kg/m}^3 & \dot{v}_L = 0,0005 \text{ m}^3/\text{seg} \\ \dot{v}_A = 0,0070 \text{ m}^3/\text{seg} & C_{pL} = 3,8816 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C} \\ C_{pA} = 4,213 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C} & T_{LF} = 6^\circ\text{C} \\ T_{AF6} = ? & T_{L_0} = 93,5^\circ\text{C} \\ T_{A_0} = 1^\circ\text{C} & \end{array}$$

El promedio de temperaturas nos permite hallar por tablas los valores correspondientes al calor específico y la densidad del fluido. (Tablas 3.4.3 y 3.10.9 del libro referenciado a continuación (Hayes, 1992)) Ver ANEXOS:

Aplicando la Ecuación 15 en el Pasteurizador de crema.:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_6 &= \rho_L * \dot{v}_L * C_{pL} * (T_{LF} - T_{L_0}) \text{ [Kw]} \\ \dot{Q}_6 &= 1019,29 \text{ Kg/m}^3 * 0,0005 \text{ m}^3/\text{seg} * 3,8816 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C} * (6^\circ\text{C} - 93,5^\circ\text{C}) \\ \dot{Q}_6 &= -173,096 \text{ Kw} \end{aligned}$$

El signo negativo dicta el rechazo de calor del proceso.

$$\begin{aligned} \boxed{\dot{Q}_6 = 49,22 \text{ TR}} \\ T_{AF6} &= \frac{\dot{Q}_6}{\rho_A * \dot{v}_A * C_{pA}} + T_{A_0} \\ T_{AF6} &= \frac{173,096 \text{ KJ/seg}}{999,89 \text{ Kg/m}^3 * 0,0070 \text{ m}^3/\text{seg} * 4,213 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}} + 1^\circ\text{C} \\ \boxed{T_{AF6} = 7^\circ\text{C}} \end{aligned}$$

5.2.7 Carga Térmica En El Deshumidificador De Aire.

Ecuación 16

$$\dot{Q}_7 = \rho_A * \dot{v}_A * C_{pA} * (T_{AF7} - T_{A_0}) = \rho_a * \dot{v}_a * C_{pa} * (T_{aF} - T_{a_0}) \text{ [Kw]}$$

\dot{Q}_7 = Carga Térmica del enfriador de placas de recibo de carrotanques. [Kw]

ρ_A = Densidad del agua fría con la que se va a enfriar el producto. $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right]$

\dot{v}_A = Flujo volumétrico del agua fría. $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{seg}}\right]$

C_{pA} = Calor específico del agua. $\left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}}\right]$

T_{AF7} = Temperatura de salida del agua. [°C]

T_{A_0} = Temperatura de entrada del agua. [°C]

ρ_a = Densidad del aire. $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}\right]$

$$\dot{v}_a = \text{Flujo volumétrico del aire.} \left[\frac{m^3}{seg} \right]$$

$$C_{p_a} = \text{Calor específico del aire.} \left[\frac{KJ}{Kg * ^\circ C} \right]$$

$$T_{a_F} = \text{Temperatura de salida del aire.} [^\circ C]$$

$$T_{a_0} = \text{Temperatura de entrada del aire.} [^\circ C]$$

$$\begin{array}{ll} \dot{Q}_7 = ? & \rho_a = 1029,46 \text{ Kg}/m^3 \\ \rho_A = 999,89 \text{ Kg}/m^3 & \dot{v}_a = 0,0009 \text{ m}^3/seg \\ \dot{v}_A = 0,0064 \text{ m}^3/seg & C_{p_a} = 3,9184 \text{ KJ}/Kg^\circ C \\ C_{p_A} = 4,213 \text{ KJ}/Kg^\circ C & T_{a_F} = 3^\circ C \\ T_{A_{F7}} = ? & T_{a_0} = 38^\circ C \\ T_{A_0} = 1^\circ C & \end{array}$$

El promedio de temperaturas nos permite hallar por tablas los valores correspondientes al calor específico y la densidad del fluido.

Aplicando la *Ecuación 15* en el Deshumidificador de aire.:

$$\dot{Q}_7 = \rho_a * \dot{v}_a * C_{p_a} * (T_{a_F} - T_{a_0}) [Kw]$$

$$\dot{Q}_7 = 1029,46 \text{ Kg}/m^3 * 0,0009 \text{ m}^3/seg * 3,9184 \text{ KJ}/Kg^\circ C * (3^\circ C - 38^\circ C)$$

$$\dot{Q}_7 = - 127,065 \text{ Kw}$$

El signo negativo dicta el rechazo de calor del proceso.

$$\boxed{\dot{Q}_7 = 36,13 \text{ TR}}$$

$$T_{A_{F7}} = \frac{\dot{Q}_7}{\rho_A * \dot{v}_A * C_{p_A}} + T_{A_0}$$

$$T_{A_{F7}} = \frac{127,065 \text{ KJ}/seg}{999,89 \text{ Kg}/m^3 * 0,0009 \text{ m}^3/seg * 4,213 \text{ KJ}/Kg^\circ C} + 1^\circ C$$

$$\boxed{T_{A_{F7}} = 34,52^\circ C}$$

La carga térmica total consumida por los equipos en kilovatios es:

$$\dot{Q}_T = \dot{Q}_1 + \dot{Q}_2 + \dot{Q}_3 + \dot{Q}_4 + \dot{Q}_5 + \dot{Q}_6 + \dot{Q}_7 + \dot{Q}_8$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_T = & (-88,265) + (- 44,44) + (- 641,53) + (- 14,09) + (- 775,14) + (- 173,096) \\ & + (- 127,065) [Kw] \end{aligned}$$

El signo negativo dicta el rechazo total de calor de todos los procesos.

$$\dot{Q}_T = -1863,626 \text{ Kw}$$

$$\dot{Q}_T = 25,1 + 12,64 + 182,42 + 4 + 220,41 + 49,22 + 36,13 \text{ [TR]}$$

La carga térmica total consumida por los equipos en toneladas de refrigeración es:

$$\dot{Q}_{T_c} = 530 \text{ TR}$$

Promedio de temperatura con la que retorna el agua:

$$T_{AFT} = \frac{3,52^\circ\text{C} + 2,67^\circ\text{C} + 6,55^\circ\text{C} + 1,67^\circ\text{C} + 30,45^\circ\text{C} + 7^\circ\text{C} + 34,52^\circ\text{C}}{7}$$

$$T_{AFT} = 12,34^\circ\text{C}$$

5.3 CAPACIDAD DE CARGA TÉRMICA DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE FRÍO.

Para el cálculo de la carga térmica en estado estable con la que cuenta el sistema de generación de frío, debemos evaluar los tres bancos hielo y el chiller.

5.3.1 Transferencia Total De Calor Banco 1.

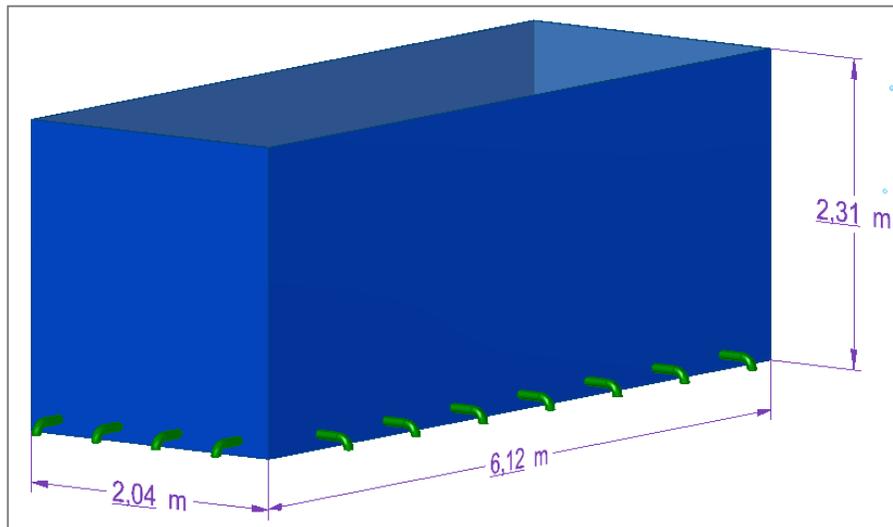


Figura 5.1 Dimensiones del banco de hielo 1.

Ecuación 17

$$Q_1 = \Delta U = m * C_p * (T_2 - T_1)$$

$$Q_1 = \Delta U = \rho * v_T * C_p * (T_2 - T_1)$$

Ecuación 18

$$v_T = v_B - v_s - v_{pl}$$

Ecuación 19

$$v_s = [h * \pi * (R^2 - r^2)](n)$$

Ecuación 20

$$\dot{Q}_{prom} = \frac{Q_1}{\Delta t}$$

$Q_1 =$ Transferencia total de calor en el banco 1. [KJ]

$\Delta U =$ Aumento de la energía en el sistema. [KJ]

$\rho =$ Densidad del agua a la temperatura promedio en el sistema. $\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$

$v_T =$ Volumen total de agua en el sistema. [m^3]

$v_B =$ Volumen del sistema. [m^3]

$v_s =$ Volumen que ocupa el serpentín en el sistema. [m^3]

$v_{pl} =$ Volumen que ocupa la placa que sostiene el serpentín. [m^3]

$h =$ Longitud de un tubo del serpentín en el sistema. [m]

$R =$ Radio exterior del tubo. [m]

$r =$ Radio interior del tubo. [m]

$n =$ número de tubos del serpentín en el sistema.

$\dot{Q}_{prom} =$ Carga térmica del sistema por unidad de tiempo [Kw] ó [TR]

$\Delta t =$ Intervalo de tiempo transcurrido [seg]

$$\rho = 999,5392 \text{ Kg}/m^3$$

$$R = 0,0159 \text{ m}$$

$$T_1 = 0^\circ C$$

$$r = 0,0108 \text{ m}$$

$$T_2 = T_{AFT} = 12,34^\circ C$$

$$n = 144$$

$$h = 6 \text{ m}$$

$$\Delta t = 3600 \text{ seg}$$

$$v_B = 2,31m * 6,12m * 2,04m \text{ (Ver Figura 5.1)}$$

$$v_B = 28,84m^3$$

Hallamos el volumen que ocupa el serpentín en el sistema con la *Ecuación 19*.

$$v_s = [6 * \pi * (0,0159^2 - 0,0108^2)](144)$$

$$v_s = 0,3696m^3$$

$$v_{pl} = 2,31m * 2,04m * 0,00635m$$

$$v_{pl} = 0,03m^3$$

Con la *Ecuación 18* hallamos el volumen de agua en el sistema.

$$v_T = 28,84m^3 - 0,3696m^3 - 0,03m^3$$

$$v_T = 28,44m^3$$

Determinamos la transferencia total de calor en el banco 1 con la *Ecuación 17*.

$$Q_1 = 999,5392 \text{ Kg}/m^3 * 28,44m^3 * 4,18866 \text{ KJ}/\text{Kg } ^\circ\text{C} * (12,34^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C})$$

$$Q_1 = 1'469.351,84\text{KJ}$$

En este paso hallamos con la *Ecuación 20* la carga térmica con la que cuenta el banco 1.

$$\dot{Q}_{prom} = \frac{1'469.351,84\text{KJ}}{3600\text{seg}}$$

$$\dot{Q}_{prom} = 408,15\text{Kw}$$

Toneladas de refrigeración que contiene el banco 1.

$$\dot{Q}_{prom} = 116,056\text{TR}$$

5.3.2 Transferencia Total De Calor Banco 2.

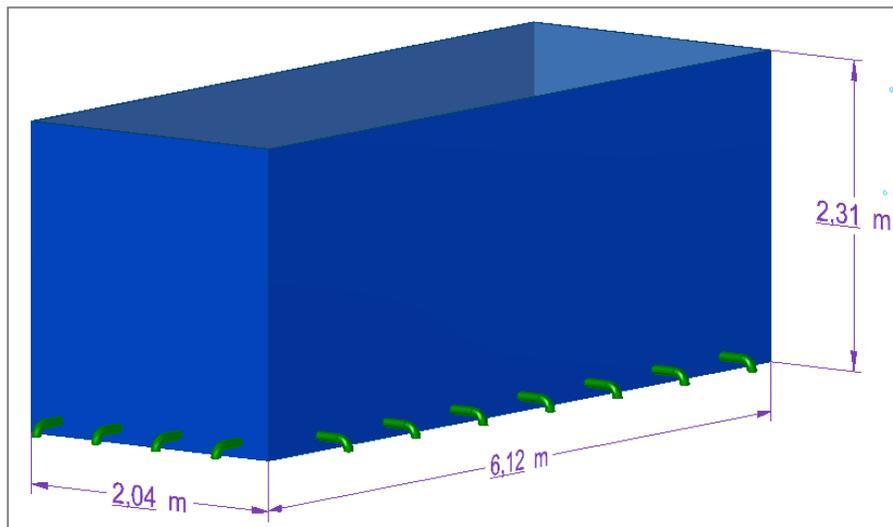


Figura 5.2 Dimensiones del banco de hielo 2.

Ecuación 21

$$Q_2 = \Delta U = m * C_p * (T_2 - T_1)$$

$$Q_2 = \Delta U = \rho * v_T * C_p * (T_2 - T_1)$$

Ecuación 22

$$v_T = v_B - v_s - v_{Pl}$$

Ecuación 23

$$v_s = [h * \pi * (R^2 - r^2)](n)$$

Ecuación 24

$$\dot{Q}_{prom} = \frac{Q_2}{\Delta t}$$

$Q_2 =$ Transferencia total de calor en el banco 2. [KJ]

$\Delta U =$ Aumento de la energía en el sistema. [KJ]

$\rho =$ Densidad del agua a la temperatura promedio en el sistema. $\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$

$v_T =$ Volumen total de agua en el sistema. [m³]

$v_B =$ Volumen del sistema. [m³]

$v_s =$ Volumen que ocupa el serpentín en el sistema. [m³]

$v_{Pl} =$ Volumen que ocupa la placa que sostiene el serpentín. [m³]

$h =$ Longitud de un tubo del serpentín en el sistema. [m]

$R =$ Radio exterior del tubo. [m]

$r =$ Radio interior del tubo. [m]

$n =$ numero de tubos del serpentín en el sistema.

$\dot{Q}_{prom} =$ Carga térmica del sistema por unidad de tiempo [Kw] ó [TR]

$\Delta t =$ Intervalo de tiempo transcurrido [seg]

$$\rho = 999,5392 \text{ Kg/m}^3$$

$$R = 0,0159 \text{ m}$$

$$T_1 = 0^\circ\text{C}$$

$$r = 0,0108 \text{ m}$$

$$T_2 = T_{AF T} = 12,34^\circ\text{C}$$

$$n = 144$$

$$h = 6 \text{ m}$$

$$\Delta t = 3600 \text{ seg}$$

$$v_B = 2,31\text{m} * 6,12\text{m} * 2,04\text{m} \text{ (Ver Figura 5.2)}$$

$$v_B = 28,84m^3$$

Hallamos el volumen que ocupa el serpentín en el sistema con la *Ecuación 19*.

$$v_s = [6 * \pi * (0,0159^2 - 0,0108^2)](144)$$

$$v_s = 0,3696m^3$$

$$v_{pl} = 2,31m * 2,04m * 0,00635m$$

$$v_{pl} = 0,03m^3$$

Con la *Ecuación 18* hallamos el volumen de agua en el sistema.

$$v_T = 28,84m^3 - 0,3696m^3 - 0,03m^3$$

$$v_T = 28,44m^3$$

Determinamos la transferencia total de calor en el banco 2 con la *Ecuación 17*.

$$Q_2 = 999,5392 \text{ Kg/m}^3 * 28,44m^3 * 4,18866 \text{ KJ/Kg } ^\circ\text{C} * (12,34^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C})$$

$$Q_2 = 1'469.351,84KJ$$

En este paso hallamos con la *Ecuación 20* la carga térmica con la que cuenta el banco 2.

$$\dot{Q}_{prom} = \frac{1'469.351,84KJ}{3600seg}$$

$$\dot{Q}_{prom} = 408,15Kw$$

Toneladas de refrigeración que contiene el banco 2.

$$\boxed{\dot{Q}_{prom} = 116,056TR}$$

5.3.3 Transferencia Total De Calor Banco 3.

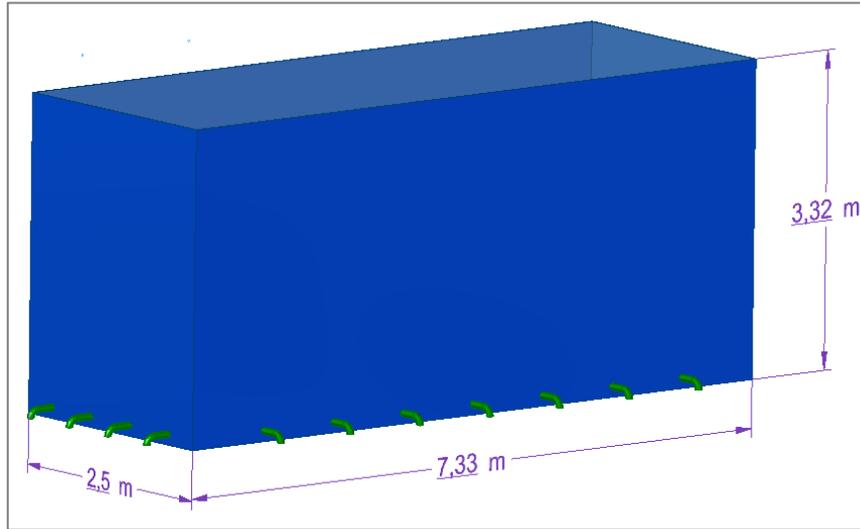


Figura 5.3 Dimensiones del banco de hielo 3.

Ecuación 25

$$Q_3 = \Delta U = m * C_p * (T_2 - T_1)$$

$$Q_3 = \Delta U = \rho * v_T * C_p * (T_2 - T_1)$$

Ecuación 26

$$v_T = v_B - v_s - v_{pl}$$

Ecuación 27

$$v_s = [h * \pi * (R^2 - r^2)](n)$$

Ecuación 28

$$\dot{Q}_{prom} = \frac{Q_3}{\Delta t}$$

$Q_3 =$ Transferencia total de calor en el banco 3. [KJ]

$\Delta U =$ Aumento de la energía en el sistema. [KJ]

$\rho =$ Densidad del agua a la temperatura promedio en el sistema. $\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$

$v_T =$ Volumen total de agua en el sistema. [m³]

$v_B =$ Volumen del sistema. [m³]

$v_s =$ Volumen que ocupa el serpentín en el sistema. [m³]

v_{pl} = Volumen que ocupa la placa que sostiene el serpentín. [m^3]

h = Longitud de un tubo del serpentín en el sistema. [m]

R = Radio exterior del tubo. [m]

r = Radio interior del tubo. [m]

n = número de tubos del serpentín en el sistema.

\dot{Q}_{prom} = Carga térmica del sistema por unidad de tiempo [Kw] ó [TR]

Δt = Intervalo de tiempo transcurrido [seg]

$$\rho = 999,5392 \text{ Kg}/m^3$$

$$R = 0,0159 \text{ m}$$

$$T_1 = 0^\circ C$$

$$r = 0,0108 \text{ m}$$

$$T_2 = T_{AFT} = 12,34^\circ C$$

$$n = 238$$

$$h = 7 \text{ m}$$

$$\Delta t = 3600 \text{ seg}$$

$$v_B = 3,32m * 2,5m * 7,33m \text{ (Ver Figura 5.3)}$$

$$v_B = 60,84m^3$$

Hallamos el volumen que ocupa el serpentín en el sistema con la *Ecuación 19*.

$$v_s = [7 * \pi * (0,0159^2 - 0,0108^2)](238)$$

$$v_s = 0,7127m^3$$

$$v_{pl} = 3,32m * 2,5m * 0,00635m$$

$$v_{pl} = 0,053m^3$$

Con la *Ecuación 18* hallamos el volumen de agua en el sistema.

$$v_T = 60,84m^3 - 0,7127m^3 - 0,053m^3$$

$$v_T = 60,0743m^3$$

Determinamos la transferencia total de calor en el banco 3 con la *Ecuación 17*.

$$Q_2 = 999,5392 \text{ Kg}/m^3 * 60,0743m^3 * 4,18866 \text{ KJ}/\text{Kg } ^\circ C * (12,34^\circ C - 0^\circ C)$$

$$Q_2 = 3'103.693,44KJ$$

En este paso hallamos con la *Ecuación 20* la carga térmica con la que cuenta el banco 3.

$$\dot{Q}_{prom} = \frac{3'103.693,44KJ}{3600seg}$$

$$\dot{Q}_{prom} = 862,14Kw$$

Toneladas de refrigeración que contiene el banco 3.

$$\dot{Q}_{prom} = 245,14TR$$

5.3.4 Carga Térmica En El Chiller.

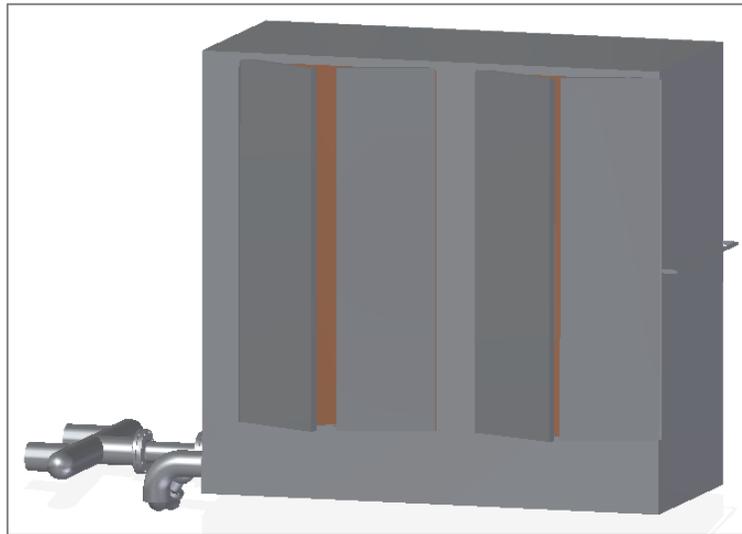


Figura 5.4 Chiller.

Ecuación 29

$$\dot{Q}_{chi} = \rho_A * \dot{v}_A * C_{pA} * (T_{AF} - T_{A0}) [Kw]$$

$$\dot{Q}_{chi} = \text{Carga Térmica generada en el Chiller. [Kw]}$$

$$\rho_A = \text{Densidad del agua con la que se va a enfriar el producto. } \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

$$\dot{v}_A = \text{Flujo volumétrico del agua. } \left[\frac{m^3}{seg} \right]$$

$$C_{pA} = \text{Calor específico del agua. } \left[\frac{KJ}{Kg * ^\circ C} \right]$$

$$T_{AF} = \text{Temperatura de salida del agua. } [^\circ C]$$

$$T_{A0} = \text{Temperatura de entrada del agua. } [^\circ C]$$

$$\dot{Q}_{chi} = ?$$

$$\rho_A = 999,5392 Kg/m^3$$

$$\dot{v}_A = 0.0125 m^3/seg$$

$$C_{pA} = 4,18866 KJ/Kg^\circ C$$

$$T_{A_{F7}} = 15,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{A_0} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

El promedio de temperaturas nos permite hallar por tablas los valores correspondientes al calor específico y la densidad del fluido. (referencia a continuación (Cvaxa software, 2016) (Cvaxa software, 2016)) Ver ANEXOS:

Aplicando la Ecuación 29 en el Chiller:

$$\dot{Q}_{Chi} = \rho_a * \dot{v}_a * C_{p_a} * (T_{a_F} - T_{a_0}) [Kw]$$

$$\dot{Q}_{Chi} = 999,5392 \text{ Kg/m}^3 * 0,0125 \text{ m}^3/\text{seg} * 4,18866 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C} * (0^\circ\text{C} - 15,5^\circ\text{C})$$

El signo negativo dicta el rechazo de calor del proceso.

$$\dot{Q}_{Chi} = - 811,18 \text{ Kw}$$

Toneladas de refrigeración que genera el Chiller.

$$\dot{Q}_{Chi} = 230,65 \text{ TR}$$

La carga térmica generada por el sistema de generación de frío en toneladas de refrigeración es:

$$\dot{Q}_T = 116,056\text{TR} + 116,056\text{TR} + 245,14\text{TR} + 230,65 \text{ TR}[\text{TR}]$$

$$\dot{Q}_{T_P} = 707,902 \text{ TR}$$

5.4 DELIBERACIÓN DE LAS CARGAS TÉRMICAS OBTENIDAS.

Es primordial hacer la relación de las toneladas de refrigeración consumidas y las toneladas refrigeración producidas, esto nos mostrara si el sistema está cumpliendo con la demanda de frío que actualmente tiene la planta.

Observamos que las toneladas de refrigeración que el sistema consume en un día soleado ($2 \pm 36^\circ\text{C}$) es de $\dot{Q}_{T_C} = 530 \text{ TR}$ mientras que las producidas son

$$\dot{Q}_{T_P} = 707,902 \text{ TR}$$

Con estos valores encontrados podemos deducir, que el sistema de refrigeración está cumpliendo con la demanda de agua fría que se requieren en los procesos.

5.5 PÉRDIDA DE CARGA TÉRMICA EN TRAMOS DE TUBERÍAS.

En la planta existe un tramo de tubería por donde circula el agua fría que no tiene aislamiento debido a deterioro del mismo. Es necesario saber cuál es la pérdida o la ganancia de calor de esta parte de la tubería (Ver Figura 5.6).

El aislamiento en las tuberías es de suma importancia, ya que una correcta solución de aislamiento debidamente diseñada y mantenida de forma sostenible

no sólo ahorra energía, sino que también mejora el funcionamiento y ciclo de vida de los equipos.

Las tuberías por donde circula el agua fría tienen un aislamiento de lana mineral con un espesor de 3 pulgadas ver a continuación la *Figura 5.5*



Figura 5.5 Tuberías de agua con aislamiento de lana mineral.

Método simplificado para estimar las pérdidas de calor. Se basa en la temperatura del fluido y se asume que:

- La temperatura de la superficie de la tubería (desnuda) es la misma que la del fluido.
- La temperatura del aire que la rodea (ambiente) es aproximadamente de 20 °C.
- El mecanismo de transferencia es una mezcla de radiación, conducción y convección ([Comisión Nacional Para El Ahorro De Energía, 2007](#)).

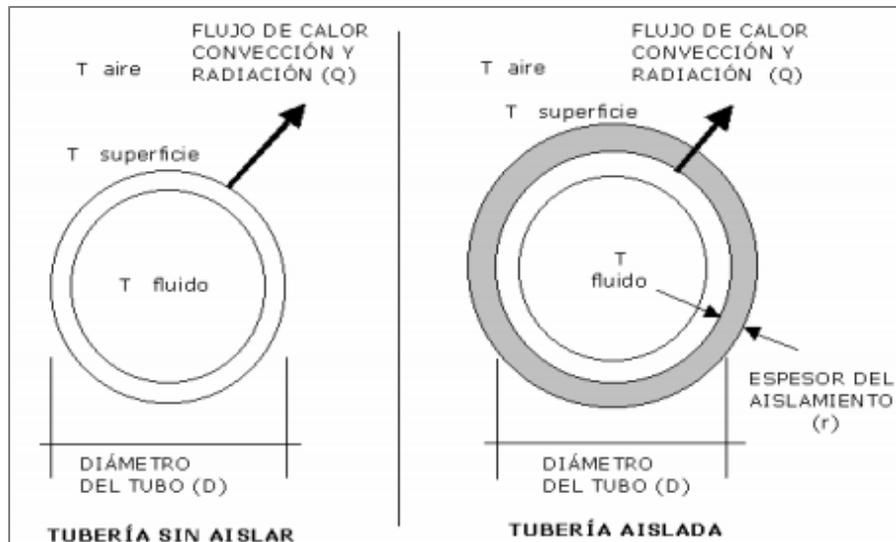


Figura 5.6 Vista previa de tubería con y sin aislamiento.

En los ANEXOS se pueden apreciar las gráficas y las tablas de pérdidas de energía con y sin aislamiento.

6. CONCLUSIONES

En el análisis que se realizó se describió el sistema global de refrigeración de la planta pulverizadora Colanta S.A. ubicada en la ciudad de Planeta Rica Córdoba, del cual se especifican:

- Los procesos que se realizan en la planta que necesitan del sistema de refrigeración.
- El tipo de configuración del sistema de refrigeración.

Por otra parte, se detallaron los equipos que consumen frío y se determinó la capacidad del sistema, después de realizar la comparación de los valores obtenidos, concluimos que el sistema cuenta con una capacidad apropiada para satisfacer la necesidad de frío en los procesos. Pero no tendría la capacidad de satisfacer la demanda o carga térmica si en la empresa se empieza a procesar un nuevo producto.

7. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

- » Reemplazar los compresores de pistón ya que son unos compresores muy obsoletos y disminuyen la eficiencia del sistema, además, en el momento de cualquier avería o cambio de alguna pieza, resulta casi imposible conseguirla en el mercado. Estos compresores se pueden reemplazar por un *Compresor Vilter Monotornillo* o un *Compresor Mycom Monotornillo*.
- » Cambiar los bancos de hielo 1 y 2 por bancos de la mismas medidas o superiores a las del banco 3 (*Ver capacidad de carga térmica del sistema de generación de frío. Pag 95*).
- » En el edificio administrativo cada piso tiene un sistema independiente de aire acondicionado, igualmente ocurre con cada lugar donde se requiere aire acondicionado. Esto genera un consumo innecesario ya que el área de generación frío podría cumplir inclusive con esta demanda si se realizan las recomendaciones de capacidad térmica anteriormente mencionadas.
- » La pulverizadora Colanta S.A. en Planeta Rica Córdoba necesita de un detector de fugas de amoniaco en varias zonas del sistema y que tenga los sensores apropiados para ubicar el área averiada para evitar fugas y accidentes.
- » Siempre es conveniente conversar con cada uno de los miembros del personal de mantenimiento del área de generación de frío, para que den su opinión sobre los incidentes más habituales que han percibido y las formas de evitarlos.

8. REFERENCIAS

- mwlíb. (2011). SISTEMA DE REFRIGERACION POR COMPRESION. En Anonimo, *SISTEMA DE REFRIGERACION POR COMPRESION* (pág. 3). kit de herramientas de fuente abierta mwlíb.
- Aguilo, R. (2000). COMPARACION ENTRE SISTEMAS DE REFRIGERACION VENTAJAS, DESVENTAJAS, E IMPACTO AMBIENTAL . *Mercofrio*, 1-9.
- ALFA LAVAL. (2008). Manual de Instrucciones Intercambiadores de calor de placas. En A. LAVAL, *Manual de Instrucciones Intercambiadores de calor de placas* (págs. 1-24). Estados Unidos.
- Baltimore Aircoil Company. (2016). OPERATION & MAINTENANCE MANUAL. *Baltimore Aircoil Company*, 44.
- BUITRAGO ARENAS, J. G. (2012). *ANÁLISIS OPERATIVO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL FRIGORÍFICO METROPOLITANO . BUCARAMANGA.*
- Calderon Candela, J. Y., & Gomez Diaz, R. L. (2010). *ANALISIS Y ESTUDIO DEL SISTEMA DE REFRIGERACION IMPLEMENTADO EN LA CERVECERIA BAVARIA S.A. DE BUCARAMANGA CON EL FIN DE PROPONER UNA MEJORA EN EL CONSUMO ENERGETICO.* Bucaramanga.
- CALDERON CANDELA, J. Y., & GOMEZ DIAZ, R. L. (2010). ANALISIS Y ESTUDIO DEL SISTEMA DE REFRIGERACION IMPLEMENTADO EN LA CERVECERIA BAVARIA S.A. DE BUCARAMANGA CON EL FIN DE PROPONER UNA MEJORA EN EL CONSUMO ENERGETICO. En J. Y. CALDERON CANDELA, & R. L. GOMEZ DIAZ, *ANALISIS Y ESTUDIO DEL SISTEMA DE REFRIGERACION IMPLEMENTADO EN LA CERVECERIA BAVARIA S.A. DE BUCARAMANGA CON EL FIN DE PROPONER UNA MEJORA EN EL CONSUMO ENERGETICO* (pág. 24). Bucaramanga.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2012). Termodinámica. En Y. A. Cengel, & M. A. Boles, *Termodinámica* (pág. 615). Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2012). Termodinámica. En Y. A. Cengel, & M. A. Boles, *Termodinámica* (pág. 644). Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2012). Termodinámica. En Y. A. Cengel, & M. A. Boles, *Termodinámica* (págs. 647-649). Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Colanta S.A. (28 de Julio de 2014). *Colanta*. Obtenido de <http://www.colanta.com.co/productos/>

- Comisión Nacional Para El Ahorro De Energía. (18 de Abril de 2007). *Estimación de pérdidas de energía térmica*. Obtenido de www.conae.gob.mx: www.conae.gob.mx
- CREPACO INDUSTRIES. (2014). *Reciprocating Compressor Maintenance Manual*. OMAHA, NEBRASKA.
- Cvaxa software. (25 de Mayo de 2016). *Calor Específico del agua líquida 0-100°*. Obtenido de Cvaxa software: www.vaxasoftware.com
- Cvaxa software. (24 de Mayo de 2016). *Densidad del agua líquida 0-100°C*. Obtenido de vaxa software: www.vaxasoftware.com
- EcuRed. (12 de Noviembre de 2004). *EcuRed Conocimiento con todos y para todos*. Obtenido de https://www.ecured.cu/V%C3%A1lvula_de_seguridad
- EcuRed. (junio de 2015). *conocimiento con todos y para todos*. Obtenido de http://www.ecured.cu/index.php/Dise%C3%B1o_asistido_por_computadora
- EMERSON CLIMATE TECHNOLOGIES. (2015). *VSS/VSM compressor unit Installation, operation & maintenance manual*. Cudahy: Vilter.
- Equipos y Laboratorio de Colombia. (26 de Enero de 2012). Obtenido de http://www.equiposylaboratorio.com/sitio/contenidos_mo.php?it=2926
- Evapco. (2011). *Evaporative Condensers . Advanced Technology for the Future, Available Today, 28*.
- Fernandez, J. F. (2009). CICLO BRAYTON, TURBINAS A GAS. En J. F. Fernandez, *CICLO BRAYTON, TURBINAS A GAS* (págs. 9-10). Buenos Aires: Editorial Universitaria de la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL U.T.N. - Argentina.
- GRABCAD. (Agosto de 2013). *COMMUNITY*. Obtenido de https://grabcad.com/library/static-mixer-statomix_ms-08-32-1
- Hadaegh, Z. B. (2016). Nitrate and nitrite content of vegetables, fruits, grains, legumes, dairy products, meats and processed meats. Iran: No. 24, Shahid-Erabi St, Yemen St, Chamran Exp, Tehran, Iran. 19395-4763 .
- Hayes, G. D. (1992). Manual de datos para ingeniería de los alimentos. En G. D. Hayes, *Manual de datos para ingeniería de los alimentos* (págs. 76, 98). Zaragoza: ACRIBIA, S.A.
- mwlib. (2011). SISTEMA DE REFRIGERACION POR COMPRESION. En Anonimo, *SISTEMA DE REFRIGERACION POR COMPRESION* (pág. 44). kit de herramientas de fuente abierta mwlib.
- PACHANO A. , L., & PEREZ R. , F. (2006). *valvulas de control*. TACHIRA: UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DEL TACHIRA.

- SC Fluids. (9 de Septiembre de 2008). *SC Fluids*. Obtenido de http://www.valvulasymedidores.com/valvulas_globo_de_globo.html
- SC Fluids. (5 de Septiembre de 2009). *SC Fluids*. Obtenido de http://www.valvulasymedidores.com/valvulas_check.html
- SC Fluids. (5 de Septiembre de 2009). *SC Fluids*. Obtenido de http://www.valvulasymedidores.com/valvulas_de_compuerta.html
- SC Fluids. (2 de Septiembre de 2010). *SC Fluids*. Obtenido de http://www.valvulasymedidores.com/valvulas_de_cuchilla.html
- SONDEX HOLDING. (2013). *Manual de servicio y mantenimiento Intercambiadores de placas Sondex*. Estados Unidos: SONDEX HOLDING.
- swep. (2015). MANUAL DE INSTRUCCIONES PARA INTERCAMBIADORES DE CALOR DE PLACAS SOLDADAS. En swep, *MANUAL DE INSTRUCCIONES PARA INTERCAMBIADORES DE CALOR DE PLACAS SOLDADAS* (págs. 1-4). Estados Unidos: dover company.
- Valvias. (20 de Febrero de 2008). *Valvias*. Obtenido de <http://www.valvias.com/tipo-valvula-de-bola.php>
- Vega Iriarte, L. A. (2010). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EQUIPO DE REFRIGERACIÓN DE LECHE CRUDA EN SITIO DE PRODUCCIÓN. En L. A. Vega Iriarte, *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EQUIPO DE REFRIGERACIÓN DE LECHE CRUDA EN SITIO DE PRODUCCIÓN* (pág. 11). Florencia.

9. ANEXOS

TABLAS.

Tabla 9-1 Tipos de compresores Vilter y sus principales características.

Model*	Displacement	-35°C Evap/-10°C Cond.**			-10°C Evap/+35°C Cond.**			-35°C Evap/+35°C Cond. Eco Flash type**		
		m ³ /hr	Capacity	Power	COP	Capacity	Power	COP	Capacity	Power
VSM-301	439	100.7	26.7	3.77	253.3	75.1	3.37	Contact Vilter for rating		
VSM-361	508	118	29.6	3.99	298.1	85.8	3.47			
VSM-401	578	136.6	32.7	4.18	346.6	96.5	3.59			
VSM-501	697	173.3	37.8	4.58	440.3	119.6	3.68	144.4	94.1	1.53
VSM-601	836	213.5	43.5	4.91	546.1	142.5	3.83	185.5	112	1.66
VSM-701	964	242.2	47.8	5.07	618	161.2	3.83	208.4	124.8	1.67
VSS-751	1116	281.6	59.5	4.73	720.6	196.8	3.66	246.9	146.5	1.69
VSS-901	1264	320.4	65.1	4.92	821.2	216.1	3.80	287.3	164.2	1.75
VSS-1051	1534	387	82.6	4.69	989.7	276.6	3.58	334.2	209.1	1.60
VSS-1201	1712	434.9	88.6	4.91	1117.7	300	3.73	389.8	226.6	1.72
VSS-1301	1849	Contact Vilter for rating			1217.8	321.8	3.78	Contact Vilter for rating		
VSS-1551	2184	556.5	123.1	4.52	1428.4	390.2	3.66	493.7	317.6	1.55
VSS-1851	2563	659.9	136.9	4.82	1700.5	445.8	3.81	602.2	359.9	1.67
VSS-2101	2885	784.2	159.2	4.93	2027	533.2	3.80	726.3	432.9	1.68
VSS-2401	3580	890.3	190.9	4.66	2318.3	649.5	3.57	776.8	498.6	1.56
VSS-2601	3895	976.7	197.2	4.95	2507	690.9	3.63	854.1	534	1.60
VSS-2801	4178	1022.9	203.5	5.03	2647.6	724.2	3.66	915.6	558.2	1.64
VSS-3001	4337	1061.7	207.4	5.12	2748.2	746.2	3.68	958.1	577.4	1.66

Tabla 9-2 Densidad y viscosidad de la leche y la nata de leche a diferentes temperaturas.

Producto	Concentración %	Temp. °C	Densidad kg/m ³	Viscosidad Ns/m ² × 10 ³
Leche entera	-	20	1030	2.12
	-	0	1035	4.28
	-	20	1030	2.12
	-	70	1012	0.7
Leche desnatada	-	25	1040	1.4
Nata	20 % de grasa	3	1010	6.2
	30 % de grasa	3	1000	13.8

Tabla 9-3 Composición y propiedades físicas de la leche

Propiedad	Intervalo de valores
Acidez	0.16±0.02
Punto de ebullición °C	100.17
Conductividad eléctrica (mho)	45-48 × 10 ⁻⁴
Punto de congelación °C	-0.55
pH	6.6 ± 0.2
Peso específico	1.032±0.004
Calor específico a 0 °C	3.852 kJ/kg °C
Calor específico a 15 °C	3.927 kJ/kg °C
Calor específico a 40 °C	3.894 kJ/kg °C
Tensión superficial (dinas)	55.3
Viscosidad (centipoises)	1.6314

Tabla 9-4 Calor específico del agua entre 0°C y 100°C

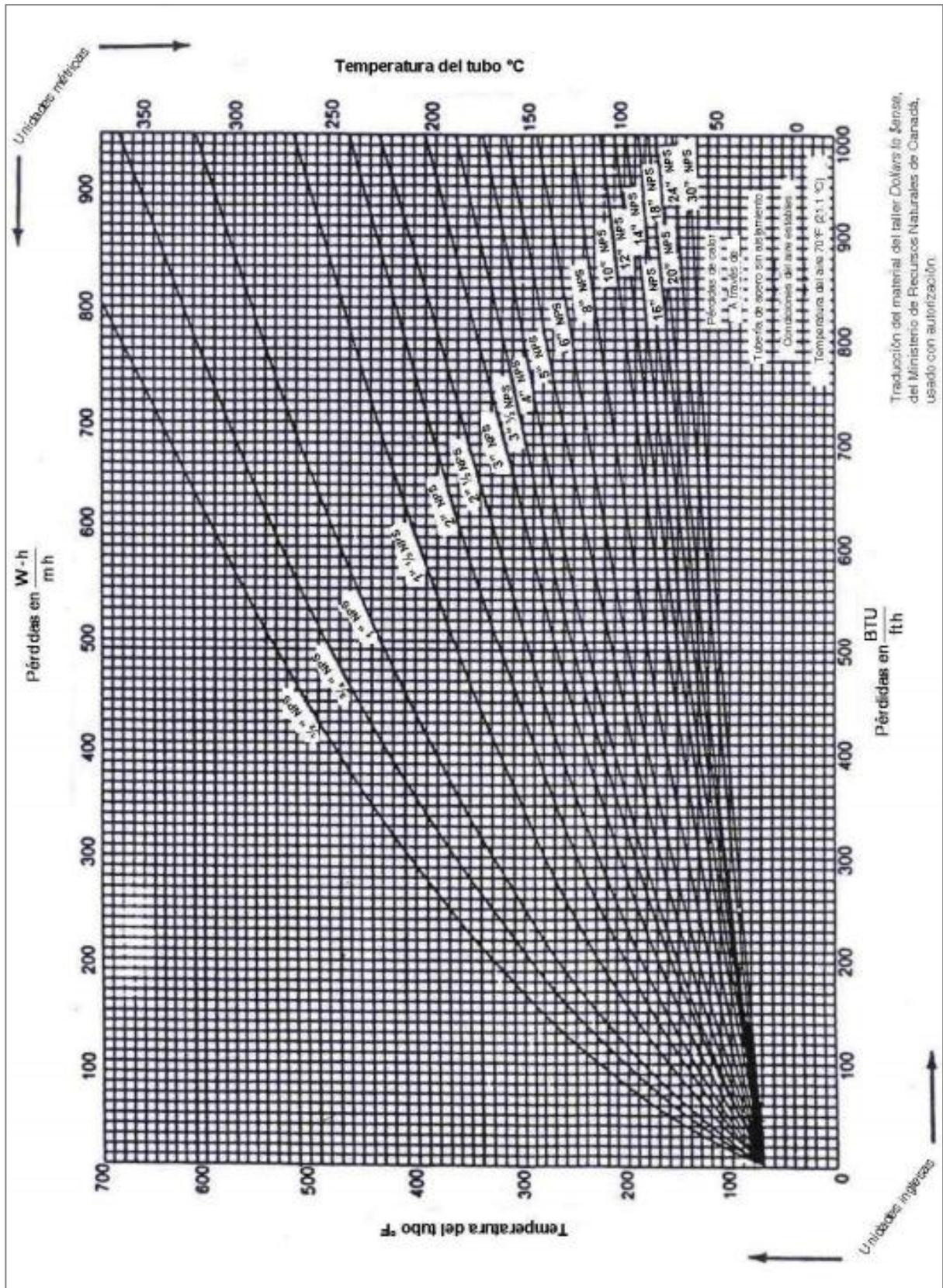
Temp. °C	Calor específico		Temp. °C	Calor específico		Temp. °C	Calor específico	
	$\frac{\text{kJ}}{\text{K}\cdot\text{kg}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{K}\cdot\text{kg}}$		$\frac{\text{kJ}}{\text{K}\cdot\text{kg}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{K}\cdot\text{kg}}$		$\frac{\text{kJ}}{\text{K}\cdot\text{kg}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{K}\cdot\text{kg}}$
0 (hielo)	1,960	0,468	34	4,178	0,999	68	4,189	1,001
0	4,217	1,008	35	4,178	0,999	69	4,189	1,001
1	4,213	1,007	36	4,178	0,999	70	4,190	1,001
2	4,210	1,006	37	4,178	0,999	71	4,190	1,001
3	4,207	1,005	38	4,178	0,999	72	4,191	1,002
4	4,205	1,005	39	4,179	0,999	73	4,192	1,002
5	4,202	1,004	40	4,179	0,999	74	4,192	1,002
6	4,200	1,004	41	4,179	0,999	75	4,193	1,002
7	4,198	1,003	42	4,179	0,999	76	4,194	1,002
8	4,196	1,003	43	4,179	0,999	77	4,194	1,002
9	4,194	1,002	44	4,179	0,999	78	4,195	1,003
10	4,192	1,002	45	4,180	0,999	79	4,196	1,003
11	4,191	1,002	46	4,180	0,999	80	4,196	1,003
12	4,189	1,001	47	4,180	0,999	81	4,197	1,003
13	4,188	1,001	48	4,180	0,999	82	4,198	1,003
14	4,187	1,001	49	4,181	0,999	83	4,199	1,004
15	4,186	1,000	50	4,181	0,999	84	4,200	1,004
16	4,185	1,000	51	4,181	0,999	85	4,200	1,004
17	4,184	1,000	52	4,182	1,000	86	4,201	1,004
18	4,183	1,000	53	4,182	1,000	87	4,202	1,004
19	4,182	1,000	54	4,182	1,000	88	4,203	1,005
20	4,182	1,000	55	4,183	1,000	89	4,204	1,005
21	4,181	0,999	56	4,183	1,000	90	4,205	1,005
22	4,181	0,999	57	4,183	1,000	91	4,206	1,005
23	4,180	0,999	58	4,184	1,000	92	4,207	1,005
24	4,180	0,999	59	4,184	1,000	93	4,208	1,006
25	4,180	0,999	60	4,185	1,000	94	4,209	1,006
26	4,179	0,999	61	4,185	1,000	95	4,210	1,006
27	4,179	0,999	62	4,186	1,000	96	4,211	1,006
28	4,179	0,999	63	4,186	1,000	97	4,212	1,007
29	4,179	0,999	64	4,187	1,001	98	4,213	1,007
30	4,178	0,999	65	4,187	1,001	99	4,214	1,007
31	4,178	0,999	66	4,188	1,001	100	4,216	1,008
32	4,178	0,999	67	4,188	1,001	100 (gas)	2,080	0,497
33	4,178	0,999						

Tabla 9-5 Densidad del agua líquida entre 0°C y 100°C

Presión externa: 1 atm = 101 325 Pa

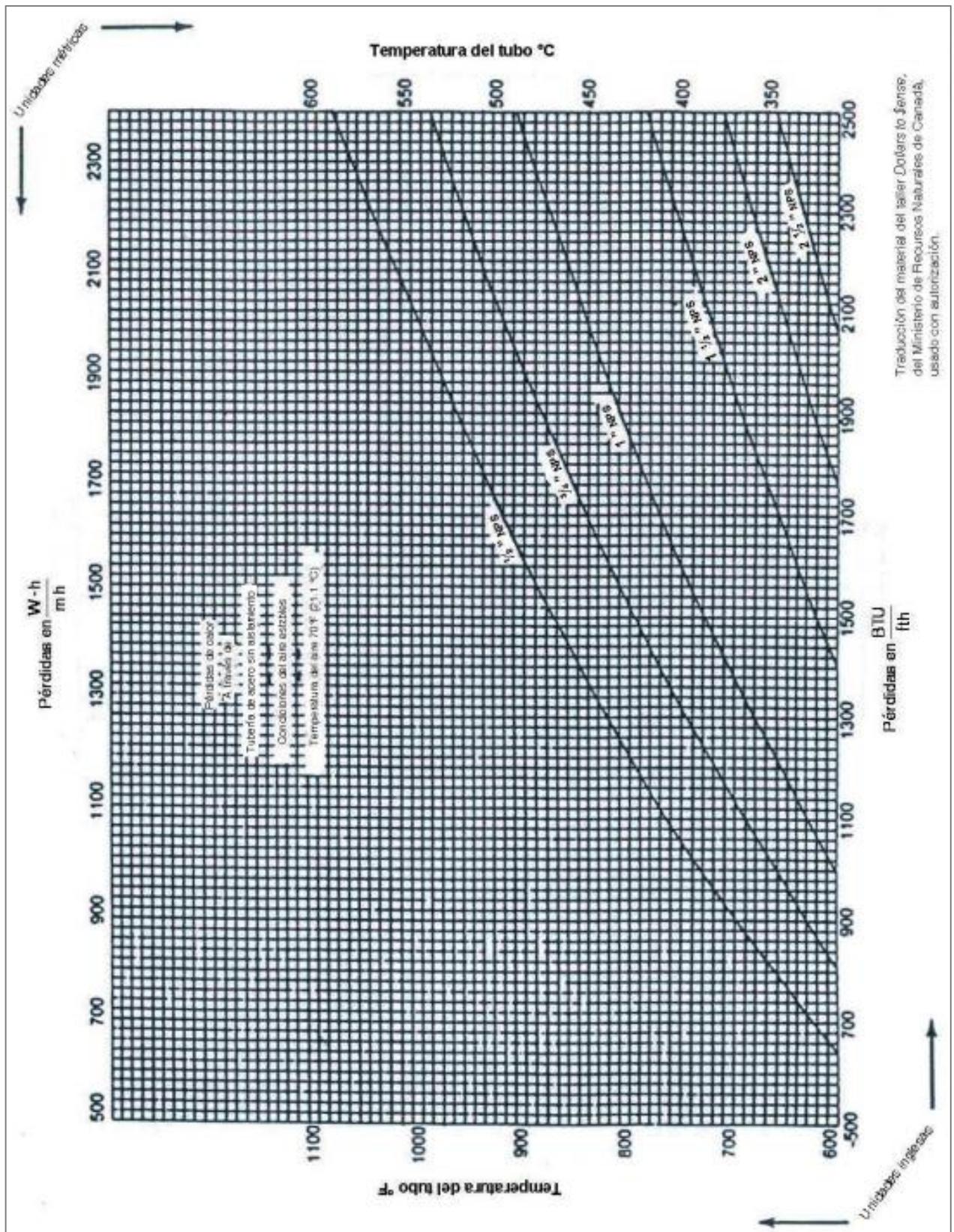
Temperatura °C	Densidad kg / m ³	Temperatura °C	Densidad kg / m ³	Temperatura °C	Densidad kg / m ³
0 (hielo)	917,00	33	994,76	67	979,34
0	999,82	34	994,43	68	978,78
1	999,89	35	994,08	69	978,21
2	999,94	36	993,73	70	977,63
3	999,98	37	993,37	71	977,05
4	1000,00	38	993,00	72	976,47
5	1000,00	39	992,63	73	975,88
6	999,99	40	992,25	74	975,28
7	999,96	41	991,86	75	974,68
8	999,91	42	991,46	76	974,08
9	999,85	43	991,05	77	973,46
10	999,77	44	990,64	78	972,85
11	999,68	45	990,22	79	972,23
12	999,58	46	989,80	80	971,60
13	999,46	47	989,36	81	970,97
14	999,33	48	988,92	82	970,33
15	999,19	49	988,47	83	969,69
16	999,03	50	988,02	84	969,04
17	998,86	51	987,56	85	968,39
18	998,68	52	987,09	86	967,73
19	998,49	53	986,62	87	967,07
20	998,29	54	986,14	88	966,41
21	998,08	55	985,65	89	965,74
22	997,86	56	985,16	90	965,06
23	997,62	57	984,66	91	964,38
24	997,38	58	984,16	92	963,70
25	997,13	59	983,64	93	963,01
26	996,86	60	983,13	94	962,31
27	996,59	61	982,60	95	961,62
28	996,31	62	982,07	96	960,91
29	996,02	63	981,54	97	960,20
30	995,71	64	981,00	98	959,49
31	995,41	65	980,45	99	958,78
32	995,09	66	979,90	100	958,05

Gráfica 9-1 *Perdidas de calor en tuberías de acero sin aislamiento.*



Traducción del material del taller Dollars to Jenesse, del Ministerio de Recursos Naturales de Canadá, usado con autorización.

Gráfica 9-2 Pérdidas de calor para tubería de acero sin aislamiento.



Traducción del material del taller Downers to Jensen, del Ministerio de Recursos Naturales de Canadá, usado con autorización.

Tabla 9-6 Pérdidas de calor para tubería con diferentes espesores de aislamiento

NPS		Temperatura del proceso (°C)									
		66	121	177	232	288	343	399	454	510	566
0.5	Espesor	25	38	51	64	76	89	102	102	114	140
	Pérdidas de calor	8	15	23	32	41	52	63	81	96	110
	Temp. Sup.	22	24	24	26	26	27	28	30	31	31
1	Espesor	25	25	51	64	89	102	102	114	127	140
	Pérdidas de calor	11	20	29	39	47	59	76	92	110	130
	Temp. Sup.	23	24	26	27	26	27	29	30	31	32
1.5	Espesor	15	51	64	76	102	102	102	140	140	162
	Pérdidas de calor	13	21	32	43	52	70	90	99	123	146
	Temp. Sup.	23	23	25	26	26	28	30	29	31	32
2	Espesor	38	51	76	89	102	102	102	140	162	162
	Pérdidas de calor	12	24	23	45	59	78	101	110	132	162
	Temp. Sup.	22	24	24	25	26	28	31	29	31	33
3	Espesor	38	64	89	102	102	114	114	162	166	178
	Pérdidas de calor	15	27	37	52	72	90	117	128	148	177
	Temp. Sup.	22	23	24	25	27	28	31	30	31	32
4	Espesor	38	76	102	102	102	127	140	162	178	191
	Pérdidas de calor	18	28	40	61	85	98	121	146	167	198
	Temp. Sup.	22	23	23	26	28	30	29	31	31	32
6	Espesor	51	76	102	102	114	127	140	166	191	203
	Pérdidas de calor	20	37	52	78	100	125	153	174	200	237
	Temp. Sup.	22	23	24	26	28	29	31	31	32	33
8	Espesor	51	86	98	98	123	123	136	172	196	208
	Pérdidas de calor	25	40	62	93	112	149	162	196	225	266
	Temp. Sup.	22	23	24	27	27	29	32	31	32	33
10	Espesor	51	89	102	102	127	140	140	191	216	229
	Pérdidas de calor	31	48	74	111	130	163	212	217	249	296
	Temp. Sup.	22	23	25	27	28	29	32	31	32	33
12	Espesor	51	89	102	102	127	140	140	171	216	241
	Pérdidas de calor	35	55	84	126	148	185	239	243	279	318
	Temp. Sup.	22	23	25	28	28	30	33	31	32	33
14	Espesor	51	89	102	102	127	140	166	191	229	341
	Pérdidas de calor	38	59	90	136	159	198	227	261	296	338
	Temp. Sup.	22	23	25	28	28	30	31	32	32	33
16	Espesor	64	89	102	102	140	178	203	229	254	254
	Pérdidas de calor	36	65	101	151	164	219	237	273	313	358
	Temp. Sup.	22	23	26	28	28	31	30	31	32	33
18	Espesor	64	89	102	102	140	140	178	203	229	254
	Pérdidas de calor	39	72	111	166	180	240	260	298	340	388
	Temp. Sup.	22	23	26	28	28	31	31	31	32	33
20	Espesor	64	89	102	102	140	140	178	203	229	254
	Pérdidas de calor	43	79	121	182	196	262	281	322	368	419
	Temp. Sup.	22	24	26	28	28	31	31	32	32	33
24	Espesor	64	102	102	102	140	162	191	203	229	254
	Pérdidas de calor	51	83	41	212	228	284	308	371	422	479
	Temp. Sup.	22	23	26	28	28	30	30	32	33	34
30	Espesor	64	102	102	102	140	166	191	216	254	254
	Pérdidas de calor	62	101	172	258	275	319	368	422	462	568
	Temp. Sup.	22	23	26	29	29	29	31	32	32	34
36	Espesor	64	102	102	102	140	178	203	229	254	254
	Pérdidas de calor	74	118	203	304	322	360	406	467	536	667
	Temp. Sup.	22	23	26	29	29	29	30	31	32	34
Tanques	Espesor	51	89	102	114	140	216	241	254	254	254
	Pérdidas de calor	32	44	63	85	98	85	98	120	148	183
	Temp. Sup.	22	23	25	27	28	27	28	29	32	34