



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

NUEVAS TENDENCIAS EN SISTEMAS DE
GENERACION DE AGUA HELADA APLICADOS A
LA INDUSTRIA LÁCTEA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO EN ALIMENTOS

P R E S E N T A N:

LILIANA GARCIA SANCHEZ

ADRIAN ALARCON PIEDRA

ASESOR: I. A. ALFREDO ÁLVAREZ CÁRDENAS



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

UNIVERSIDAD NACIONAL
 AUTÓNOMA DE
 MEXICO

U. N. A. M.

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
 P R E S E N T E

DEPARTAMENTO DE
 EXAMENES PROFESIONALES

ATN: L. A. ARACELI HERRERA HERNÁNDEZ
 Jefe del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 26 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la Tesis:

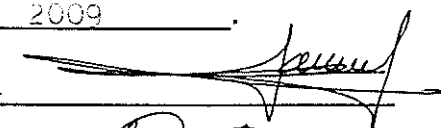
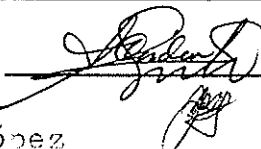

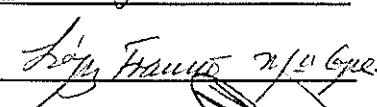

Nuevas Tendencias en Sistemas de Generación de Agua
Helada Aplicados a la Industria Láctea

que presenta la pasante: Liliana García Sánchez
 con número de cuenta: 400094887 para obtener el título de :
Ingeniera en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
 "POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 06 de Agosto de 2009.

- PRESIDENTE IBQ. José Jaime Flores Minutti 
- VOCAL IA. Alfredo Alvarez Cárdenas 
- SECRETARIO IA. Francisco Javier Moreno López 
- PRIMER SUPLENTE IA. María Guadalupe López Franco 
- SEGUNDO SUPLENTE IA. Edear Francisco Arechavaleta Vázquez 



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN



DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: L. A. ARACELI HERRERA HERNANDEZ
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 26 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la Tesis:

Nuevas Tendencias en Sistemas de Generación de Agua
Helada Aplicados a la Industria Láctea

que presenta el pasante: Adrián Alarcón Piedra
con número de cuenta: 90401235 para obtener el título de :
Ingeniero en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 06 de Agosto de 2009.

PRESIDENTE IBQ. José Jaime Flores Minutti

VOCAL IA. Alfredo Alvarez Cárdenas

SECRETARIO IA. Francisco Javier Moreno López

PRIMER SUPLENTE IA. María Guadalupe López Franco

SEGUNDO SUPLENTE IA. Edgar Francisco Arechavaleta Vásquez

Dedicatorias

Este trabajo lo dedico con todo mi amor y cariño:

A Dios por darme la oportunidad de vivir,

A mi Mamá Ana, mi ángel guardián que desde el cielo me cuida.

A mi Papá Leobardo, pues ha sido uno de mis principales apoyos en la vida y aunque no estemos de acuerdo en ocasiones, lo admiró pues de él aprendí que con la responsabilidad y perseverancia podemos lograr nuestras metas.

A mi hermana Ana, gracias por ser mí mejor amiga y apoyarme siempre en todas mis decisiones.

A mi hermano Octavio, porque con sus acciones me permite confirmar que un esfuerzo más es un fracaso menos.

A mis tías Juanis y Vicky por sus cuidados, por su amor y cariño de madres.

A mi prima Vicky por su amor y apoyo incondicional.

A mí Tío Marcos, porque aparte de ser como un segundo padre, es mi ejemplo a seguir, gracias por estar siempre dispuesto ayudarme y aconsejarme.

A Sarita y Leo por llenar de alegría mi vida con sus travesuras y sonrisitas.

A mis amigas y amigos: Cinthya, Laura, Maritza, Victor, Cleme, Oscar, Rafa, Paco, Omar y todas las personas que de alguna manera han tocado mi vida y han influido para que sea una mejor persona.

Al profesor Alfredo, gracias por todo el tiempo y consejos que nos brindó.

Finalmente a Adrián mi compañero de tesis gracias por las experiencias buenas y malas que se generaron mientras hacíamos este trabajo.

Gracias a todos por ser parte de mi historia.

Dedicatorias

Quiero dedicar este trabajo a:

A Dios, porque en su fortaleza todo lo puedo.

Mi esposa Xochita, gracias por ser mi ayuda idónea. Te amo.

Mis hijas Bárbara, Diana y Adriana, mis tres lindas princesas que me motivan diariamente.

Mi papá Mario Alarcón Hernández. Gracias por enseñarme a ser digno y un buen hombre; ya estamos cosechando lo que sembramos juntos. Te quiero.

Mi mamá Adriana Piedra Barrera. Gracias por tu amor, perseverancia, cuidados y atenciones. Tu dedicación fue un impulso para este logro.

Mis hermanos Katty, Betty, Mario y Raúl, porque siempre contamos unos con otros. Este logro es familiar.

Mis amigos y compañeros: Alejandro Olvera, Alfredo Martínez, Sergio Higashi, Marco Aguilar, Manuel Aguilar, Netzer Gómez, Roberto Guerrero, Fernando Alonso, Jazmín Villareal, Alicia Sandoval, Sven-Olaf Kluee, Luis Chiu, Gerson Mastachi y todos aquellos no mencionados que han demostrado su amistad por mí.

Mi Universidad y maestros. A la UNAM la siempre máxima casa de estudios y a todos mis profesores en especial a Alfredo Álvarez mi asesor y amigo, a Edgar Arechavaleta, a Javier Moreno, a Manuel Alarcón, a Fernando Beristain, a Jaime Flores, a Álvaro Leo (QEPD), Chalia, Paty Martínez y más.

Mi compañera de tesis Liliana García. Por compartir este tema tan interesante de tesis en la culminación de la carrera y sobre todo por su paciencia. ¡Al fin terminamos!

INDICE

Índice de Figuras	IV
Índice de Tablas	VI
Resumen	VII
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	4
CAPÍTULO 1. Antecedentes.	5
1.1. Desarrollo de la industria láctea.	5
1.2. Manipulación de la leche durante su acopio y almacenaje.	8
1.2.1. Leche cruda.	9
1.2.2. Preenfriamiento en la recolección.	10
1.2.3. Equipos de transporte de leche.	12
1.2.4. Silos de leche.	13
1.2.5. Cámaras frías.	13
1.3. Productos lácteos procesados que requieren enfriamiento.	14
1.4. Refrigeración en la industria láctea.	14
1.4.1. Ciclo mecánico de producción de frío.	16
1.4.2. Refrigerantes.	19
1.4.3. Métodos de alimentación a evaporadores.	20
1.4.4. Enfriamiento Indirecto.	26
CAPÍTULO 2. Bancos de hielo.	30
2.1. Principio de operación.	30
2.2. Bancos de hielo de serpentines.	33
2.2.1. Características de equipo y condiciones de operación.	34
2.3. Bancos de hielo de paneles.	36
2.3.1. Características de equipo y condiciones de operación.	37

CAPÍTULO 3. Enfriadores instantáneos.	40
3.1 Principio de operación.	40
3.2. Enfriadores de placas semisoldadas.	41
3.2.1. Características de equipo y condiciones de operación.	45
3.3 Enfriadores de película descendente.	46
3.3.1. Características de equipo y condiciones de operación.	51
3.4 Enfriadores de casco y placas.	52
3.4.1. Características de equipo y condiciones de operación.	54
CAPÍTULO 4. Silos de hielo.	57
4.1. Principio de operación.	60
4.2. Silos de agua helada de serpentines.	61
4.2.1. Características de equipo y condiciones de operación.	64
4.3. Silos de agua helada de paneles.	66
4.3.1. Características de equipo y condiciones de operación.	69
CAPÍTULO 5. Recomendaciones para la pre-selección de un sistema de generación de agua helada.	72
5.1. Factores que influyen en la pre-selección.	72
5.2. Metodología de pre-selección.	81
CONCLUSIONES.	84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	86
REFERENCIAS ELECTRÓNICAS	88

INDICE DE FIGURAS

1. Diagrama de la producción primaria de leche en función de su uso.	8
2. Tanque de enfriamiento de leche	11
3. Ciclo de producción de frío	17
4. Sistema de expansión directa	22
5. Evaporador inundado	23
6. Evaporador de líquido recirculado	25
7. Sistema indirecto	27
8a. Formación de hielo alrededor de los serpentines	32
8b. Formación de hielo sobre el panel	32
9. Banco de hielo de serpentines	33
10. Enfriador de evaporador sumergido	36
11. Banco de hielo de paneles	38
12. Conformación de placas soldadas	42
13. Diseño de las placas semisoldadas	43
14. Enfriador de placas semisoldadas	44
15. Paneles del enfriador tipo Baudelot	47
16. Enfriador de película descendente	49
17. Enfriador tipo Baudelot	50
18. Enfriador de casco y placas	53
19. Placas circulares para un enfriador de casco y placas	54
20. Corte interno de un enfriador de casco y placas	55
21. Variaciones típicas de la carga de refrigerante durante un día	58
22. Silos de agua helada de serpentines	62
23. Esquema del funcionamiento del silo de agua helada de serpentines	63
24. Silo de agua helada de paneles	67

INDICE DE TABLAS

1. Capacidades y volúmenes de diferentes modelos estándar de bancos de hielo de serpentines	36
2. Capacidades y volúmenes de diferentes modelos estándar de bancos de hielo de paneles	39
3. Características de algunos enfriadores de placas semisoldadas	46
4. Clasificación de los equipos en función a su temperatura de aplicación más común	73
5. Riesgo de daño al equipo por congelación del agua durante su operación.	74
6. Cantidad interna de fluido frigorígeno (Amoniaco)	75
7. Tamaño del equipo (espacio y superficie total requerido)	76
8. Indicación del requerimiento del cambio de empaques	77
9. Temperatura de evaporación de diseño para generar agua helada	78
10. Material estándar de construcción de los equipos de generación de agua helada	79
11. Fabricantes de equipos de generación de agua helada	80
12. Disponibilidad y atención local del fabricante al usuario	81

RESUMEN

En los últimos años la industria láctea nacional ha venido presentado cambios y crecimientos considerables en su producción, por lo que es importante replantear sus procesos productivos, así como el empleo de nuevas tecnologías dentro de las cuales están las nuevas tendencias en la generación de agua helada. En este trabajo se recopilaron datos actuales de la industria láctea nacional para observar sus tendencias de crecimiento y justificar el análisis de las nuevas tecnologías en el área. Se explica brevemente el ciclo de producción de frío y la importancia de la aplicación en la cadena del frío de la leche que va desde su recolección hasta su procesamiento en leche pasteurizada y sus subproductos. Se realizó el análisis del funcionamiento de los diferentes tipos de equipos de generación de agua helada. Detallándose el principio de operación de cada uno de los equipos, así como sus características de fabricación. También se realizó una descripción y la tabulación de algunos de los factores que influyen en la preselección de un sistema de generación de agua helada, lo que puede ayudar al industrial o al diseñador de plantas lácteas y sistemas frigoríficos a preseleccionar el equipo más adecuado a sus necesidades para un óptimo enfriamiento. Cabe aclarar que para lograr una correcta y formal selección del mejor sistema de agua helada, es necesario realizar un análisis más completo de los factores complementarios de los equipos y del proceso. Se puede resaltar que la industria en México se encuentra lista para considerar en sus procesos productivos los métodos tecnológicos más modernos con los que se cuentan actualmente en el mundo.

INTRODUCCIÓN

La leche y sus derivados son muy importantes en la nutrición humana al ser uno de los alimentos más completos que existen. Sin embargo éstos son también altamente perecederos y pierden fácilmente su valor nutritivo, sabor y apariencia si no se toman las medidas de protección adecuadas (*Spreer, 1991*).

Por las características de su propia composición, la leche es un producto fácilmente contaminable y muy susceptible a la elevación de temperatura; es por esto, que el tiempo y la temperatura constituyen un punto crítico durante la recolección (*Varnam y Sutherland, 1995*).

En el ámbito internacional, el mercado de la leche y los lácteos fue, es y será influenciado por innumerables factores relacionados tanto con la situación socioeconómica global, como con el desarrollo específico de la industria, por lo que actualmente es necesario aplicar sistemas de enfriamiento que permitan optimizar los procesos en la industria láctea y por consiguiente la aplicación del frío (*Gallardo, 2004*).

Los ganaderos que se encuentran en zonas lejanas a las plantas requieren que su producto cubra la calidad demandada procurando mantener su producción a bajas temperaturas, para lo cual requieren de sistemas frigoríficos de almacenamiento y/o tanques refrigerados para mantener la leche en buen estado (*Hui, 1993*).

Consecuentemente la Industria Láctea es una de las más avanzadas en el área del procesamiento de alimentos, cuidando de la leche desde que sale de la ubre de la vaca, a través del transporte a la industria láctea, proceso, envasado y distribución hasta que llega al consumidor. Por lo tanto la industria tiene que trabajar con horario bien planeado y riguroso para conseguir leche para producir productos de primera calidad (*Keating, 1999*).

La conservación de la leche producida en las regiones lecheras es, actualmente, una necesidad tanto económica como social; la cual regula el mercado y su abastecimiento en las zonas deficientes. Esta conservación puede realizarse, hoy en día, por diversos métodos que conservan la leche íntegra o privada de su agua de constitución por tiempos prolongados (*Alais, 1998*).

Cuando se introdujo la tecnología aséptica, se revolucionó la industria de la alimentación, haciendo posible la distribución de productos alimenticios de alta calidad a largas distancias con un costo razonable. El corazón de la tecnología aséptica para la fabricación de productos lácteos de larga vida es el procesamiento aséptico, y desde su introducción este concepto ha sido desarrollado y refinado hasta un punto en el que puede cumplirse cualquier necesidad respecto a calidad y viscosidad del producto, contenido de partículas, acidez o sensibilidad al tratamiento térmico, manteniendo simultáneamente la alta calidad y la larga vida del producto (*ASHRAE, 1998; APV, 2003*).

El enfriamiento con agua helada en el sector lácteo es el método más higiénico, efectivo y seguro para bajar la temperatura de los productos en las condiciones de higiene que exige la industria de alimentos. El agua helada tiene una capacidad frigorífica muy considerable por lo que se pueden transportar cantidades de calor con caudales relativamente bajos en comparación con otros agentes frigoríficos (*BUCO Falling Film Chiller, 2005*).

Tradicionalmente se emplean máquinas frigoríficas de compresión mecánica, como bancos de hielo para el enfriamiento indirecto de lácteos, (como leche, margarina, helado o crema). En este equipo se utiliza agua con circulación forzada, que es enfriada al pasar sobre un bloque de hielo formado alrededor de los tubos inundados de refrigerante colocados dentro de un tanque aislado. Este sistema requiere la instalación de compresores relativamente pequeños y de evaporadores relativamente simples. Aunque está diseñado para trabajar por lotes y capacidades pequeñas, se considera como una de las soluciones comúnmente

empleadas para los industriales dedicados a este ramo (*Marsh, 1992; Sánchez, 1998*).

Es por esto que en el presente trabajo se evalúa la operación y ventajas comparativas entre bancos de hielo, enfriadores instantáneos y silos de agua helada; pues estos últimos son equipos poco conocidos, que pueden ser una opción más para aumentar la producción del medio de enfriamiento indirecto (agua helada), empleando bajos volúmenes de refrigerante (*BUCO Ice Bank, 2005; BUCO Ice Store Falling Film, 2004*).

En otro sentido y debido a la tecnología e ingeniería en sus diseños se pueden obtener menores gastos de energía y mantenimiento del equipo, lo que resulta en menores costos a mediano plazo.

La industria láctea mexicana necesita abrirse a otros sistemas que minimicen los costos energéticos, por lo que es objetivo de este trabajo dar al usuario un panorama de las tendencias en sistemas de generación de agua helada, aplicados a este sector.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Revisar las prácticas de enfriamiento de agua y generación de hielo utilizadas en la industria láctea y su empleo actual y futuro en México.

OBJETIVO PARTICULAR 1

Realizar una revisión de las características de diseño, fabricación y operación de los bancos de hielo, los enfriadores instantáneos y los silos de agua helada, que se emplean en la industria láctea

OBJETIVO PARTICULAR 2

En función a los avances tecnológicos revisados, determinar las nuevas tendencias en equipo de generación de agua helada en la industria láctea mexicana.

OBJETIVO PARTICULAR 3

Recomendar una metodología de pre-selección en función a los aspectos de diseño, técnico-operativo de los equipos revisados.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

La leche, considerado bajo un concepto fisiológico, es la secreción de las glándulas mamarias. Desde el punto de vista legal, se define como el producto del ordeño higiénico, efectuado completa y profundamente, en una o más hembras de ganado lechero bien alimentado y en un buen estado de salud. Bajo el criterio industrial lechero, la definición de leche, además del concepto legal, considera a los grandes grupos de animales que se encuentran en bastas áreas y cuencas lecheras, y a este producto se le llama frecuentemente “leche de conjunto”.

El nombre de leche se refiere al producto procedente de la vaca; la leche derivada de otras especies va siempre seguida con la designación de la hembra productora. La leche es un fluido biológico complejo, cuya composición y propiedades físicas varían de una especie a otra en función de las necesidades dietéticas de las crías. El constituyente mayoritario de la leche es el agua y contiene cantidades variables según las especies de lípidos, proteínas y carbohidratos que se sintetizan en la glándula mamaria. También se encuentran en la leche pequeñas cantidades de minerales y otros componentes lipo e hidrosolubles que proceden directamente del plasma sanguíneo, proteínas sanguíneas e intermediarios de la síntesis mamaria (*Varnam y Sutherland, 1995*).

1.1. Desarrollo de la Industria Láctea.

La importancia de la leche para humanos es la base de una red productiva que ha formado un subsector de gran importancia económica. En México, la importancia del sector lechero y la industria láctea está determinada por alrededor de 70,000 empresas en la actividad primaria, y más de 11,000 en la actividad industrial. El valor de la producción primaria de leche representa casi la cuarta parte del valor total de la producción ganadera y la industria láctea es la tercera industria alimentaria más importante en el país, después de la del maíz y de la

carne (*Ángeles, et al., 2004*).

La producción nacional de leche presentó una Tasa de Crecimiento Media Anual de 1.63%, en el periodo de 2000 a 2008. Para 2009 la expectativa es de 10,805.37 millones de litros (*SAGARPA, 2009*).

Si bien la producción de leche se desarrolla en todo el país, en 2008 tan sólo cinco entidades federativas contribuyeron con 55.45% de la producción nacional, que fue de 5,879.21 millones de litros. Dentro de ellas destacan los estados de Jalisco, Coahuila, Durango, Chihuahua y Veracruz, quienes ocupan los primeros cinco lugares en producción (*SAGARPA, 2009*).

Por otra parte, tan sólo en 2008 se importaron 46,899 litros de leche fluida y 173,163 toneladas de leche en polvo; siendo esta situación un indicativo de una demanda insatisfecha, lo cual muestra la necesidad de fortalecer la producción nacional para que amplíe su oferta y tenga una mayor participación en el abasto doméstico (*SIAP, 2008*).

La situación del sector lechero está relacionada estrechamente con la dinámica de la producción y del consumo. La distribución de la producción de leche depende del sistema productivo, tipo de agente comercializador, grado de integración, volumen y destino final del producto (*Ángeles, et al., 2004*).

El mayor rendimiento en los ranchos ganaderos ha sido paralelo al incremento de la automatización de la producción láctea. El ordeño manual casi ha desaparecido de la ganadería comercial y el ordeño mecánico se lleva a cabo en salas de ordeño cada vez más automatizadas. En algunos casos se puede realizar una identificación automática de las vacas mediante “etiquetas” electrónicas, que permiten una alimentación y un control de rendimiento individualizados (*Varnam y Sutherland, 1995*).

La estructura de la industria láctea varía mucho de un país a otro. Por una

parte están los productores que venden la leche de un pequeño número de animales mientras que por otra parte, en un sólo rancho puede haber varios centenares de animales. El incremento del rendimiento lechero se debe a la mejora genética, que incluye la mejora del ganado mediante programas de inseminación artificial y a las mejoras en la nutrición y manejo del ganado (*SIAP, 2008*).

Las preferencias del consumidor sustentan un mercado dinámico al permitirse elegir entre una gran gama de leches, en función de su poder adquisitivo, hábitos de consumo e inclusive por prescripción médica. Por su parte, los industriales han incidido en el fomento a la producción y a la calidad del lácteo, al otorgar premios a los productores primarios, en función del contenido de grasa, bajo conteo bacteriano, libres de antibióticos, calidad de sólidos no grasos, aplicación de prácticas zoonosanitarias y equipamiento, fundamentalmente para la conservación en frío, entre otros.

La leche se destina, en función de su uso, al consumo directo y al procesamiento en diversos productos, inclusive es utilizada por otras ramas industriales no relacionadas con el subsector lechero (*Gallardo, 2004*). Como se puede observar en la figura 1 se comercializa, actualmente, leche fluida, en polvo, evaporada, reconstituida con grasa vegetal, condensada azucarada, fermentada, deslactosada, diversas formulas lácteas para lactantes y en algunos casos leche adicionada con vitaminas y minerales. Por su proceso de conservación, en la leche fluida se pueden encontrar leche pasteurizada y ultrapasteurizada con diversas cantidades de grasa, como es el caso de la entera, descremada y parcialmente descremada.



Figura 1: Diagrama de la producción primaria de leche en función de su uso (Gallardo, 2004).

1.2. Manipulación de la leche durante su acopio y almacenaje.

La leche es una materia prima fácilmente perecedera, la temperatura de 37°C en la que la leche es producida está en el intervalo óptimo para el desarrollo de los microorganismos. Por esto el mejor método técnico para lograr mantener más tiempo la leche fresca es el de enfriarla durante la fase negativa del desarrollo microbiano. La temperatura crítica es de 10 °C, pues sobre ésta las bacterias patógenas, tales como E. coli, Enterobacter aerogenes, Klebsiella, Citrobacter, Salmonella, Shigella y Serratia, se desarrollan a velocidades creciente según su especie. Por esto se aconseja enfriar la leche a temperaturas inferiores a 10 °C en las primeras dos horas después de la ordeña y mantenerla bajo esta temperatura de preferencia a 4 °C hasta el momento de la pasteurización.

La refrigeración debe intervenir desde el momento del ordeño; su eficacia es tanto más grande cuanto más pobre sea la leche en gérmenes. El tiempo en que transcurre entre la recogida y la utilización de la leche debe tenerse en consideración; cuanto más largo es, más enérgico debe ser el enfriamiento. Como la duración del poder bacteriostático de la leche es inversamente proporcional a la temperatura y al grado de contaminación y suciedad, cuanto más contaminada y sucia está una leche más temprano y a más baja temperatura se debe enfriar. Los factores más importantes que intervienen en la conservación de la leche son la calidad bacteriológica inicial de la leche y la temperatura de conservación. Cuando hay necesidad de conservar la leche por un periodo superior de 6 a 8 horas, debe tratarse de enfriar lo más cerca posible a 0 °C, sin congelar (*Keating, 1999*).

1.2.1. Leche cruda.

Inmediatamente después del ordeño la leche se retira del establo, se debe filtrar por medios adecuados y enseguida deberá enfriarse dentro de las dos horas siguientes, a una temperatura igual o inferior a 6 °C si se recoge diariamente, o a una temperatura igual o inferior a 4 °C si no se recoge diariamente (*CODEX, 2004*). En la leche recién obtenida, los microorganismos se encuentran en la fase de adaptación o de latencia. En esta fase su crecimiento es muy reducido y esto hace posible que, mediante la refrigeración inmediata, se pueda limitar considerablemente el desarrollo de los microorganismos.

La leche debe almacenarse dentro de tanques o de recipientes sanitarios tapados y provistos de sistemas de agitación, en una nave limpia y bien aireada, hasta su transporte a la industria. Durante el almacenamiento se remueve la leche frecuentemente ya que de lo contrario se forma una capa de grasa que evita la desodorización, favoreciendo la acidificación y la alteración del aroma (*Spreer, 1991*).

Desde que la leche llega al tanque refrigerante en la granja, durante su

transporte en las cisternas y el posterior almacenamiento en la central, la leche cruda se debe mantener a baja temperatura para evitar el desarrollo de microorganismos.

Cuando la leche cruda llega a la planta, generalmente se trasvasa desde el camión cisterna a un silo de almacenamiento. La leche se envía a los silos empleando bombas centrífugas para causar los mínimos daños posibles a los glóbulos grasos y el llenado se realiza por la parte inferior para evitar la agitación y la formación de espuma. No suelen utilizarse bombas de desplazamiento positivo porque producen más lesiones en los glóbulos grasos.

Antes de llegar al silo la leche pasa a través de un filtro tupido donde se retienen las partículas extrañas de tamaño de 0,5 mm. o superior que, aunque una vez que la leche sale de la granja son menos abundantes, siempre se encuentran en ella (*Early, 2000*).

1.2.2. Preenfriamiento en la recolección.

La leche se refrigera para mantener su calidad por el mayor tiempo posible y al reducir su temperatura se reduce el crecimiento bacteriano. Debido a esto el enfriamiento de la leche en el establo es más eficiente cuando se utiliza un preenfriamiento.

El preenfriamiento correcto es la única manera de mantener la calidad de la leche cruda, proceso que se realiza por medio del empleo de sistemas tradicionales como el de enfriamiento de bidones por inmersión en tinas de agua helada o por medio de aire frío, o sistemas modernos de tanques de enfriamiento con agitación (figura 2) o unidades mixtas de intercambiadores de placas y bancos de hielo (*DELAVAL, 2009*).

La elección del mejor sistema frigorífico empleado para el preenfriamiento de la leche depende de las condiciones económicas, disponibilidad de agua, suministro de energía eléctrica, precio de la leche por su calidad, etcétera.

Tan sólo el frío artificial permite resolver convenientemente los problemas de preenfriamiento en la recolección por lo cual se recomienda la utilización de los sistemas antes mencionados.



Figura 2. Tanque de enfriamiento de leche (DELAVAL, 2009).

1.2.3. Equipos de transporte de leche

A) Recogida mediante bidones.

La recogida mediante bidones es el método más clásico para el transporte de leche, éstos suelen ser de 20 litros y los hay de hierro estañado, de aleación de aluminio y de material plástico.

La recogida mediante bidones presenta la ventaja de permitir la individualización de los suministros hasta la recepción y consecuentemente facilita la toma de muestras para determinar la calidad.

Por otro parte los bidones tienen varios inconvenientes importantes:

- 1 Peso elevado de los recipientes, capacidad reducida del vehículo.
- 2 El mantenimiento de un gran número de bidones precisa de un taller de reparaciones y una costosa máquina lavadora.
- 3 Imposibilidad en la práctica de un transporte refrigerado.

B) Camión cisterna.

Las cisternas de recogida de la leche normalmente son tanques cilíndricos o en forma de barril, de acero inoxidable, que pueden estar divididos en varios compartimentos internos, dependiendo del tamaño de la cisterna. El tanque está aislado térmicamente para mantener la leche fría durante su transporte. En la cisterna se instala el equipo necesario para estas operaciones, colocándose el conjunto sobre el chasis de un camión. La cisterna también dispone de un sistema de limpieza CIP que permite mantenerla en perfectas condiciones higiénicas.

El traslado de leche se hace únicamente en tuberías sanitarias, tanto en la granja como en la fábrica. Suprimiendo el local de recepción, y reduciendo la

manipulación de la leche; simplificando la operación de limpieza (*Early, 2000*).

1.2.4. Silos de leche.

Los silos de leche son tanques sanitarios verticales con valores L/D mayores a 3 o 4 fabricados comúnmente en acero inoxidable los cuales cuentan con propelas de agitación mecánica, recubrimientos de aislante térmico y algunos también con doble pared de intercambio de calor para su enfriamiento, el cual puede ser por medio de la evaporación de un fluido frigorígeno o la absorción de calor sensible por medio de un fluido frigorífero (*Lage, 1989*).

1.2.5. Cámaras frías.

Las cámaras frías, son normalmente grandes almacenes que se mantienen a bajas temperaturas, los cuales están recubiertos en sus paredes con paneles de aislamiento térmico que no permiten tan fácilmente el ingreso del calor de los alrededores. Estos almacenes se mantienen fríos debido al movimiento forzado de aire que pasa a través de unos equipos llamados enfriadores de aire los cuales contienen en su estructura serpentines metálicos en donde fluye y se evapora un fluido frigorígeno ó donde fluye y absorbe calor sensible un fluido frigorífero.

En la mayoría de las plantas lácteas sus cámaras frías no emplean la evaporación de un fluido frigorígeno como el amoníaco en sus enfriadores de aire sino que emplean un fluido frigorífero como el agua para absorber calor sensible del aire que pasa forzado por los ventiladores a través de los enfriadores de aire.

Estas cámaras frías se emplean normalmente para mantener la baja temperatura de la leche posterior a la pasteurización así como de los subproductos de esta (*Early, 2000*).

1.3. Productos lácteos procesados que requieren enfriamiento.

Normalmente los productos lácteos se enfrían con agua helada, que se emplea como medio refrigerante en la sección final del intercambiador de calor de placas del sistema de pasteurización y también en los tanques de doble pared utilizados para la leche tratada térmicamente y los productos en las etapas intermedias del proceso de elaboración (*Early, 2000*).

Algunos ejemplos de productos lácteos procesados que normalmente requieren enfriamiento son:

- Yogurt; en la pasteurización de la leche como materia prima, al final del proceso de fermentación y durante su almacenamiento.
- Queso fresco; en la pasteurización de la leche como materia prima y durante su almacenamiento.
- Mantequilla; en la pasteurización de la leche como materia prima y durante su almacenamiento.
- Crema; en la pasteurización de la leche como materia prima y durante su almacenamiento.
- Lactosuero fermentado; al final del proceso de fermentación y durante su almacenamiento

1.4. Refrigeración en la industria láctea.

Como se menciona en el tema 1.1 la inmensa cantidad de leche producida en un país, no se puede vender directamente del productor al consumidor, a causa de la aglomeración de los habitantes en las grandes ciudades. Por consiguiente,

se precisa la intercalación de una organización minuciosamente perfeccionada de recolección y distribución. La leche puede estar además infectada con agentes patógenos, por lo que es necesario someterla a un tratamiento que garantice una pasteurización irreprochable y que se tiene que hacer entre la recolección y la distribución.

Una parte de la producción lechera sale de las industrias lácteas como leche fresca, en botellas y/o paquetes.

El frío se emplea en algunos puntos de los procesos de elaboración de productos lácteos, no solamente para la conservación de estos productos, sino también como agente para la elaboración de algunos de ellos, por lo tanto la industria lechera no se concibe hoy día sin el empleo del frío artificial.

En las legislaciones internacionales para la industria láctea existen disposiciones que exigen que la leche pasteurizada se refrigere después del calentamiento por lo menos a 3°C o 4°C, pero no menor de 0°C, para no propiciar la nucleación.

El enfriamiento con agua helada en el sector lácteo es el método más higiénico, efectivo y seguro para bajar la temperatura de los productos en las condiciones de higiene que exige la industria de los alimentos. El agua helada tiene una capacidad frigorífica de 4.19 kJ/kg K (*Stoecker, 1998*) por lo que se pueden transportar cantidades de calor con caudales relativamente bajos en comparación con otros agentes frigoríficos.

Esta refrigeración de la leche pasteurizada, junto con la de la leche bruta recibida, representa el mayor consumo de frío en la industria láctea.

El tratamiento de la leche en la industria se realiza en el modo siguiente: la leche suministrada (por los granjeros, en cantaros; por los depósitos centrales, en

camiones tanques o por camiones de ordeña) se mide o pesa, se comprueba la calidad y se almacena. En industrias lecheras que reciban leche 2 veces al día, la de la tarde se preenfria solamente y se almacena hasta el día siguiente, para ser trabajada conjuntamente con la de la mañana recién recibida. En las primeras horas de la mañana, la leche se calienta y se vuelve a enfriar de nuevo, lo que tiene lugar hoy casi exclusivamente en intercambiadores de placas (*Plank, 1984*).

Para instalaciones industriales como lo son las plantas lecheras, se recomienda el uso de Amoniaco como refrigerante debido a su gran capacidad de absorción de calor por unidad de peso.

Debido a las nuevas legislaciones de seguridad e higiene es recomendable el uso del enfriamiento indirecto con agua o con refrigerantes secundarios en las zonas de proceso y cámaras.

1.4.1. Ciclo mecánico de Producción de Frío.

El ciclo mecánico de producción de frío es un sistema donde un medio de transferencia de calor, conocido como refrigerante, es usado en su forma líquida, para recibir calor de un producto que se enfría o congela, a través de un intercambiador de calor (evaporador). En este evaporador el refrigerante líquido es modificado de estado líquido a vapor y un compresor es empleado para mover ese vapor de su baja presión y baja temperatura a una alta presión y alta temperatura. Haciendo esto, se permite que el calor acumulado en el vapor del refrigerante sea cedido por intercambio de calor en el condensador al agua, al aire o a una mezcla de ambos; causando una vez más un cambio de estado del refrigerante de su fase de vapor a su forma líquida. Posteriormente este líquido fluye en forma regulada dentro del evaporador (*Garland, 2001*).

El ciclo de producción de frío es el mismo independientemente del tamaño del sistema. El uso y aplicación de las propiedades termodinámicas de los

diferentes refrigerantes es el mismo, aunque existen notables diferencias en su densidad, volumen relativo del líquido en vapor, miscibilidad con aceites lubricantes y diferente presión a una misma temperatura. Estas diferencias hacen necesario tener un conocimiento amplio de la influencia del refrigerante en el diseño y funcionamiento del sistema.

En la figura 3 se muestra un diagrama típico del ciclo de producción de frío. Este es un ciclo cerrado el cual debe ser presurizado y posteriormente evacuado y cargado de un refrigerante. El compresor es una bomba de vapor diseñada exclusivamente para desplazar el vapor del evaporador al condensador, de una zona de baja presión en el evaporador denominada presión de succión hacia una zona de alta presión en el condensador llamada presión de condensación.

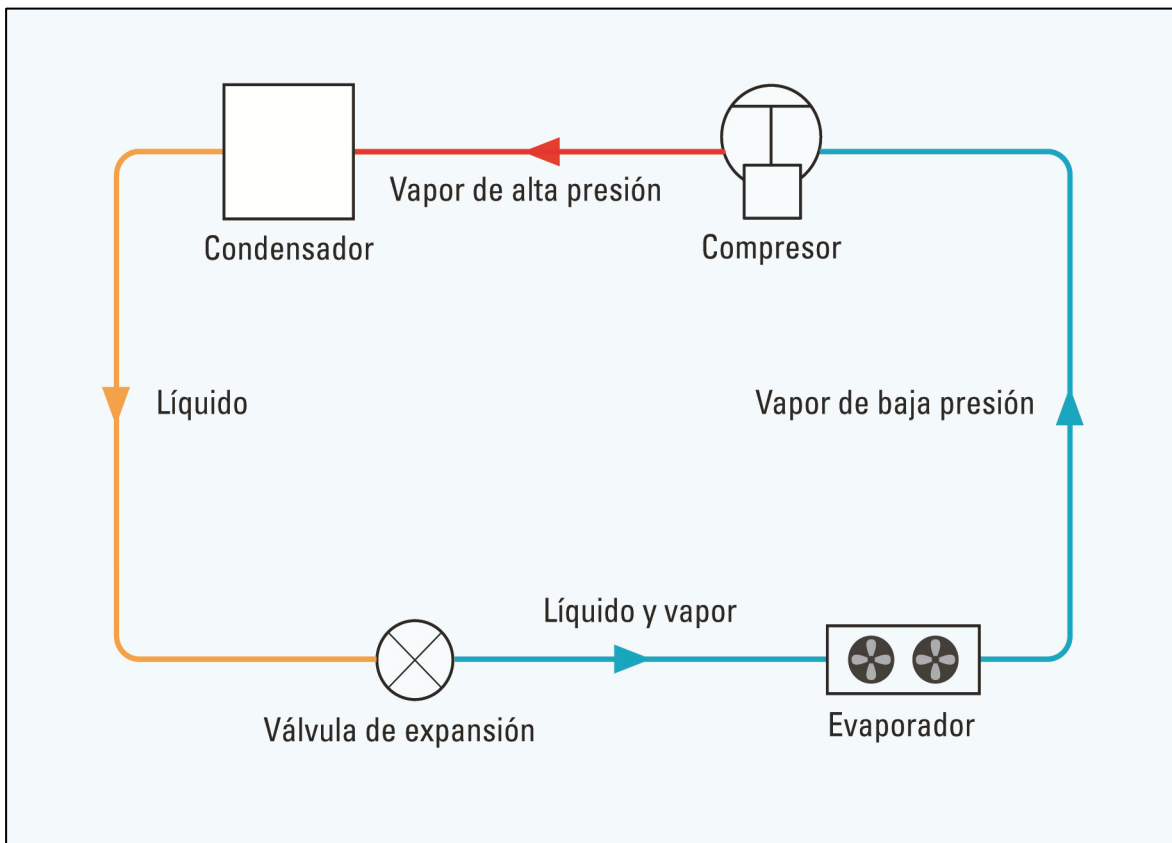


Figura 3: Ciclo mecánico de producción de frío (*Garland, 2001*).

En la figura 3 las flechas muestran el movimiento del refrigerante a través del ciclo de producción de frío, en el cual se puede observar que el compresor remueve el vapor del evaporador y lo descarga en el condensador.

El condensador es un intercambiador de calor utilizado para remover el calor total recolectado en el evaporador, el calor de compresión y el calor absorbido por el líquido a través de las paredes de los recipientes que lo contienen y de las tuberías en donde fluye. Este calor total es transferido al agua, al aire o a una combinación de ambos, causando que el vapor se condense a su fase líquida. Las tuberías llevan este líquido del recibidor al dispositivo de control de alimentación comúnmente llamado válvula de expansión, ya que este es el punto divisorio en el cual el líquido cae de una alta presión a una baja presión antes de entrar al evaporador.

Independientemente del número de evaporadores, compresores, condensadores o del refrigerante empleado, no existirá cambio en el patrón de flujo del compresor, así como tampoco cambio en la operación del condensador, ni del evaporador. Por lo que sin importar el tamaño del sistema, el ciclo de producción de frío deberá garantizar que el compresor sólo absorba vapor a su entrada (*Garland, 2001*).

En la gran mayoría de las plantas lácteas el ciclo de producción de frío presenta un arreglo del tipo de instalación frigorífica monovalente ya que es un sistema para producción de frío en una sola etapa, resuelto para producir un sólo nivel controlado de temperatura y presión de evaporación en todas sus aplicaciones frigoríficas.

En pocos casos, se presentan instalaciones frigoríficas polivalentes, pudiendo ser sistemas de producción de frío en dos etapas de compresión, que operan a diferentes niveles controlados de temperatura y presión de evaporación.

1.4.2. Refrigerantes.

Un refrigerante es cualquier cuerpo o sustancia que actúa como agente de enfriamiento absorbiendo calor de otro cuerpo o sustancia. Con respecto al ciclo de producción de frío el refrigerante es el fluido de trabajo, el cual alternativamente se vaporiza y se condensa absorbiendo y cediendo calor, respectivamente. Para que un refrigerante sea apropiado y se le pueda usar en el ciclo de producción de frío, debe poseer ciertas propiedades químicas, físicas y termodinámicas que lo hagan seguro y económico durante su uso (*Dosat, 1998*).

Los refrigerantes pueden clasificarse en dos grupos: fluidos frigorígenos y fluidos frigoríficos.

A. Fluidos frigorígenos.

Un fluido frigorígeno es aquel que se evapora dentro del sistema de refrigeración aprovechando el calor latente para la producción de frío. Los fluidos frigorígenos son fabricados en su mayoría por el ser humano, pero también existen fluidos naturales como el amoníaco NH₃ y el dióxido de carbono CO₂ (*Bermúdez, 2000*).

El dióxido de carbono fue remplazado como consecuencia de las altas presiones necesarias. El amoníaco continúa utilizándose fundamentalmente en las instalaciones industriales. El cloruro de metilo fue utilizado en pequeñas instalaciones y después fue sustituido por compuestos derivados halogenados de los hidrocarburos, conocidos bajo nombres comerciales tales como freón, frigen, arcton, etc. Este grupo de refrigerantes contiene átomos de flúor y cloro. Actualmente estas sustancias se denominan generalmente compuestos clorofluorcarburos y abreviadamente como CFC. El primero que fue desarrollado para uso comercial fue el R-12 o freón 12. Otro refrigerante como el R502 es una mezcla azeotrópica de diferentes fluidos frigorígenos (*Stoecker, 1998*).

Entre los fluidos HCFC o hidro-flúor-carbonados, que no poseen el efecto destructor del ozono atmosférico de los freones anteriores, pero sin embargo presentan una mayor responsabilidad sobre el efecto invernadero, destacan los R-125, R-134 a, R-143 a, R-152 a y R-032.

También se ha propuesto utilizar mezclas de freones, siendo las más conocidas en sustitución del R-022 las siguientes: R-407 C, R-410 A, R-410 B, y en sustitución del R-502 las siguientes mezclas: R-404 A, R-507, R-407 A y el R-407 B (*Hidalgo, 2003*).

B. Fluidos frigoríferos.

En este rubro se consideran a todos aquellos fluidos que se utilizan en la industria frigorífica basándose en el concepto de calor sensible; es decir, son fluidos que al eliminar el calor de un producto o sustancia por enfriar incrementan su temperatura (*Lage, 1989*).

Algunos fluidos frigoríferos más empleados se mencionan a continuación:

- 1 Agua
- 2 Alcohol – Alcohol Etílico
- 3 Alcohol – Alcohol Metílico
- 4 Cloruros – Cloruro de Calcio
- 5 Cloruros – Cloruro de Sodio
- 6 Glicol – Etilenglicol
- 7 Glico – Propilenglicol

1.4.3. Métodos de Alimentación a Evaporadores.

Después de los compresores, los evaporadores son los componentes más importantes en una planta frigorífica. De hecho se podría decir que son lo más importante, puesto que transmiten el frío directamente al material que se desee

enfriar. Son los componentes que finalmente determinan el éxito del proceso de enfriamiento. Además, son la parte más cara de la instalación en lo que concierne a los gastos de inversión y, por tanto, también probablemente los más sujetos a la manipulación del precio (*Koelet, 1997*).

Los tres métodos básicos de alimentación a evaporadores de uso común actualmente son: el de expansión directa, el inundado y el de líquido recirculado.

A. Evaporador de Expansión Directa.

Las grandes instalaciones de refrigeración en la industria láctea deben usar evaporadores separados a una distancia considerable uno de los otros. En este tipo de instalación, el agua, se enfría mediante el evaporador. Después se recircula esta agua fría por los serpentines de enfriamiento en las diferentes partes del sistema. El costo de este método es razonable porque el agua es barata, y fácil de manejar. Para operaciones a temperaturas menores que el punto de congelación del agua se usan soluciones glicoladas en lugar de agua.

Se puede decir que en el evaporador de expansión directa el refrigerante líquido se alimenta a dicho componente sólo cuando se necesita. El líquido ebulle en el evaporador al absorber calor del espacio circundante. El refrigerante permanece en estado líquido solamente cuando entra al evaporador, ebulviendo rápidamente mientras transcurre a lo largo de los tubos del evaporador. Por esta razón, los evaporadores de expansión directa algunas veces se denominan evaporadores de expansión seca (Figura 4).

Por el contrario, otro tipo de evaporador funciona con sus serpentines llenos de líquido todo el tiempo. Estos reciben el nombre de evaporadores inundados.

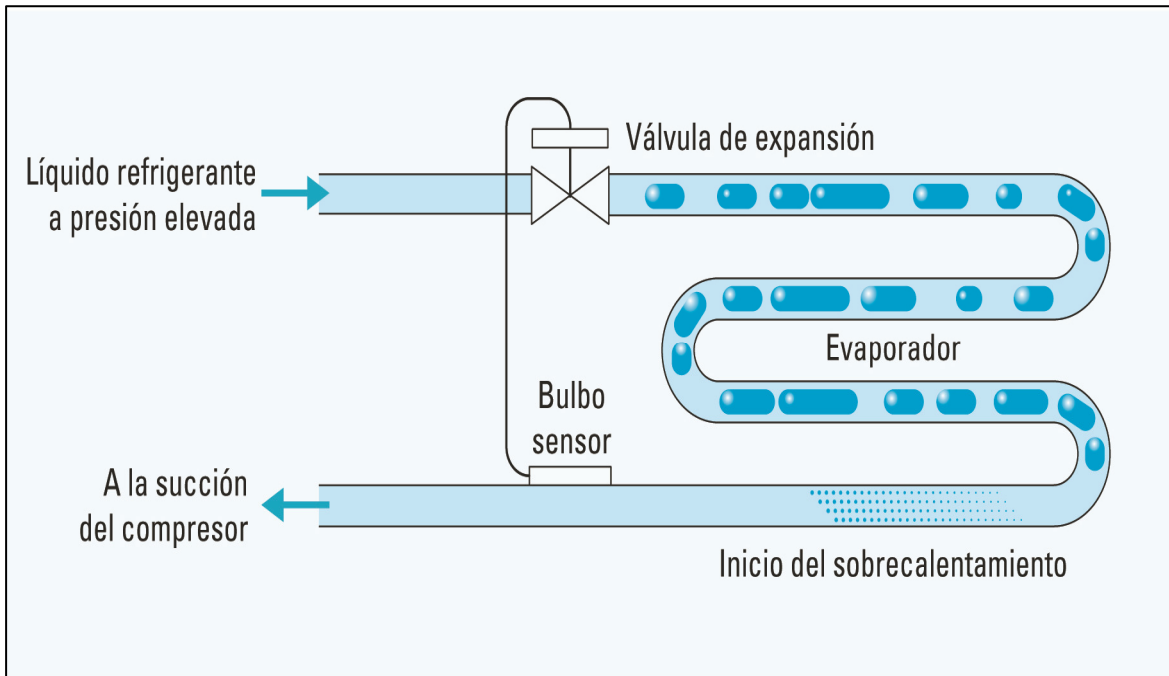


Figura 4: Sistema de expansión directa (Stoecker, 1998).

B. Evaporadores Inundados.

El evaporador inundado, como se muestra en la figura 5, depende de la convección natural para circular más refrigerante a través del evaporador que lo que se evapora. Todas las superficies del evaporador son así mojadas con líquido refrigerante. El vapor formado en el evaporador es separado en el tanque elevado y fluye a la línea de succión.

Una válvula de control de nivel permite la entrada de líquido refrigerante para reemplazar la cantidad vaporizada. La diferencia en presión estática en la pierna de líquido es más grande que la de la mezcla de líquido-vapor en los tubos del evaporador, y esta diferencia en presión es lo que propicia el flujo de refrigerante.

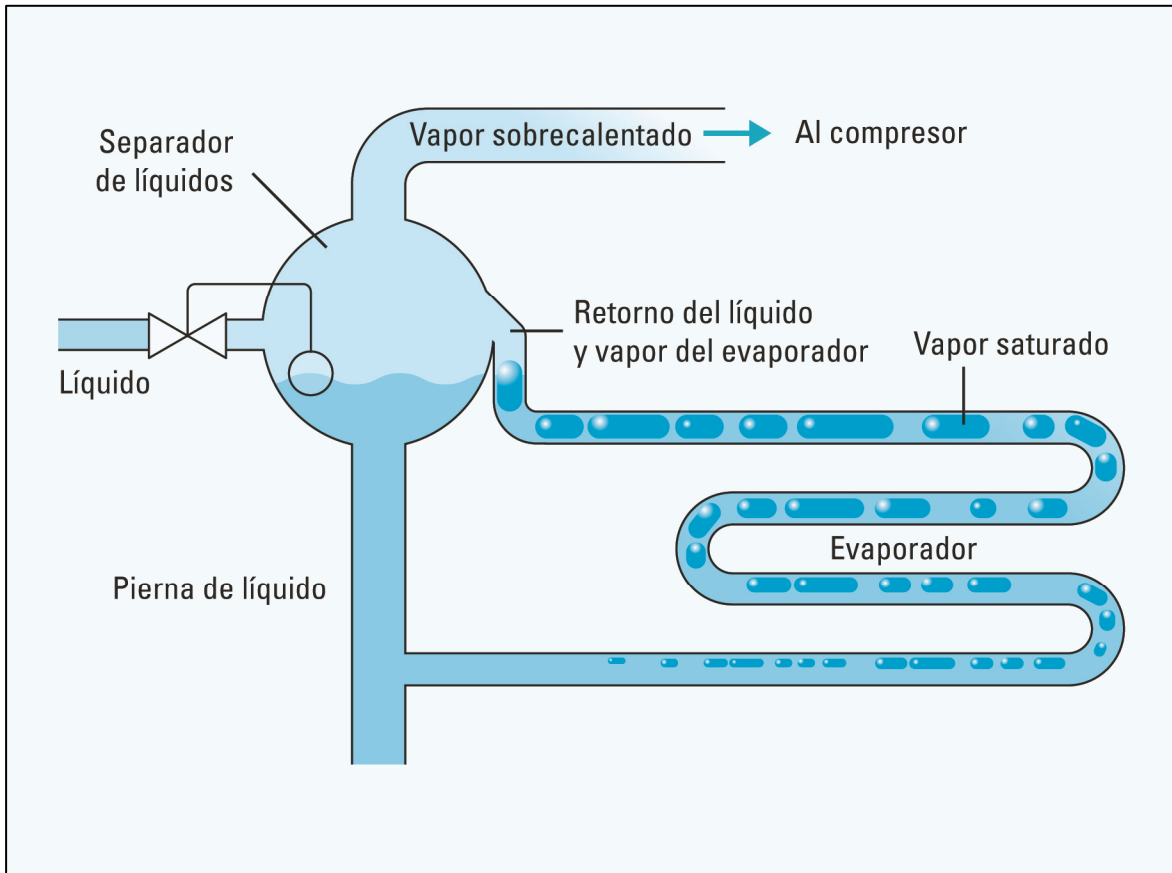


Figura 5: Evaporador inundado (Stoecker, 1998)

Algunas de las ventajas del evaporador inundado en comparación con el de expansión directa son:

- La superficie interna del evaporador es más eficiente porque está completamente inundada.
- Disminución de problemas en la distribución de refrigerante en circuitos paralelos.
- Que sólo vapor saturado entra a la línea de succión en lugar de vapor sobrecalentado, así la temperatura de succión del gas que entra al compresor es menor, lo cual también reduce la temperatura de descarga del compresor.

Las desventajas del evaporador inundado en comparación con el de

expansión directa son:

- El costo inicial de inversión es elevado.
- Se necesita más refrigerante para llenar el evaporador y el tanque separador de líquido.
- Es probable que el aceite se acumule en el tanque separador de líquido y en el evaporador por lo que debe ser periódicamente removido.
- Riesgos por el empleo de altas cantidades de amoniaco en la planta.

El flujo de los refrigerantes líquidos para los evaporadores inundados se maneja por medio de controles de flotador. Entre éstos se encuentran el flotador del lado bajo y el flotador del lado alto.

C. Evaporador de Líquido Recirculado.

EL tercer método de alimentación a evaporadores es la recirculación forzada de líquido, como se muestra en la figura 6, donde el líquido es suministrado a los evaporadores a partir de una bomba mecánica o de un arreglo por bomba de presión por gas.

Al evaporador entra mayor cantidad de líquido del que es evaporado, así una mezcla de líquido vapor sale del evaporador y regresa al recipiente que separa el vapor del líquido. El líquido separado junto con el líquido admitido a través de la válvula de control de nivel baja hacia la bomba para ser recirculado en los evaporadores. Los sistemas de recirculación forzada como los sistemas inundados cuentan con las ventajas de una buena transferencia de calor y la seguridad de succionar en el compresor vapor saturado. Asegurar la sobrealimentación bajo cargas variables es más difícil con recirculación forzada. Sin embargo todo el aceite se acumula en un solo lugar (el recipiente separador), lo que es mejor que acumularse en los evaporadores individuales.

La efectividad operativa de evaporadores inundados y evaporadores recirculados es básicamente la misma cuando cuentan con un diseño apropiado. Entonces ¿cuál sería el mejor criterio de selección entre un sistema inundado y un sistema recirculado para múltiples evaporadores? En el sistema recirculado la bomba y el recipiente separador aumentan el costo de inversión inicial, lo que no ocurre en un sistema inundado. Por otro lado el costo de mantenimiento para un sistema inundado es básicamente alto debido a los múltiples sitios donde el aceite debe ser purgado y a los altos costos de mantenimiento de las válvulas de control por tantos evaporadores en el sistema. Las consideraciones anteriores conllevan a favorecer el uso de sistemas inundados para procesos pequeños (3 o 4 evaporadores) y el de líquido recirculado por bombas para grandes instalaciones (Stoecker, 1998).

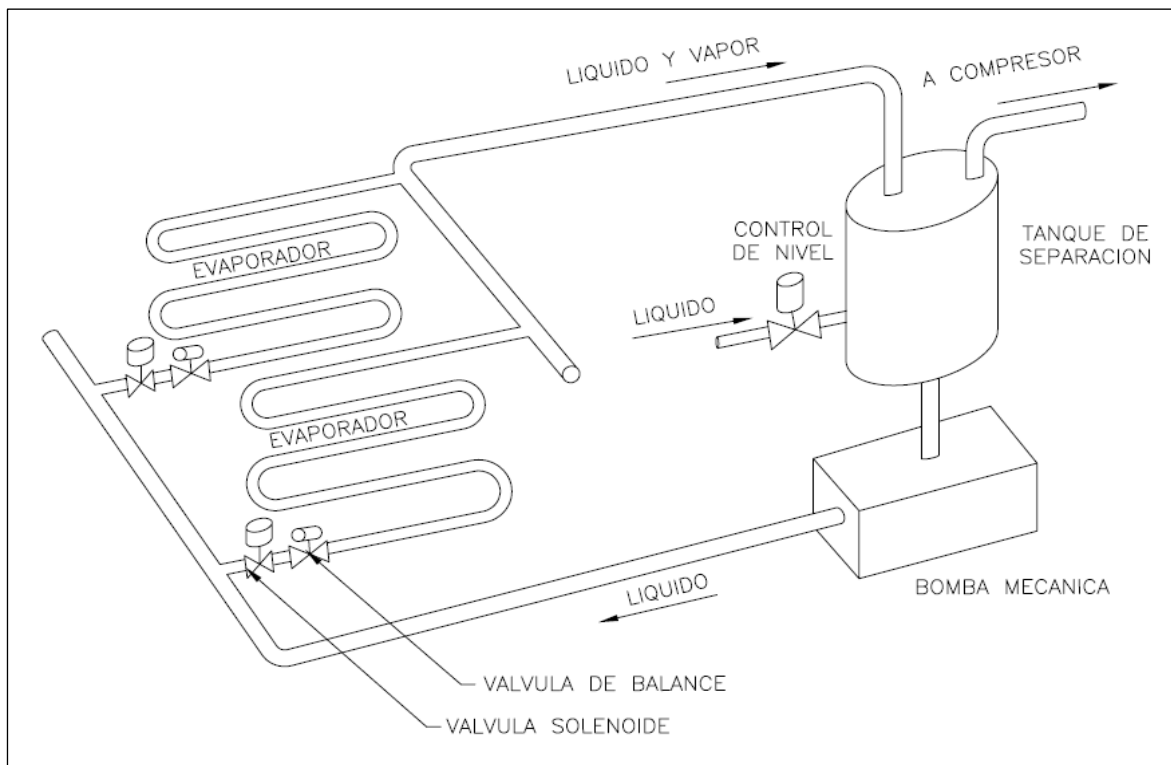


Figura 6. Evaporador de líquido recirculado (Stoecker, 1998)

1.4.4. Enfriamiento Indirecto.

Los refrigerantes secundarios transmiten la energía térmica del objeto que se enfría al refrigerante primario.

Cualquier superficie de transferencia de calor dentro de la cual un líquido volátil (refrigerante) es expandido y evaporado a fin de producir un efecto de enfriamiento se le llama evaporador de expansión directa y al líquido así evaporado fluido frigorígeno. Un sistema de refrigeración de expansión directa es aquel en el cual el evaporador del sistema, empleando un fluido frigorígeno está en contacto directo con el material que está siendo refrigerado.

Con frecuencia, resulta inconveniente circular un fluido frigorígeno sobre el producto que requiere el enfriamiento. Para tales casos, se emplea un sistema de enfriamiento indirecto. El agua o salmuera es enfriada por un fluido frigorígeno en un enfriador de líquido y después es bombeado a través de tuberías apropiadas hacia el espacio o producto por enfriar. El agua enfriada puede hacerse circular directamente alrededor del producto o envase refrigerado o bien puede ser pasada a través de serpentines de enfriamiento de aire o por algún otro tipo de superficie de transferencia de calor. En cualquier caso, el refrigerante necesario calentado por la absorción de calor proveniente del espacio frío o del producto, es regresado al enfriador para ser enfriado y recirculado (figura 7).

El enfriamiento indirecto se utiliza en muchas aplicaciones de procesos de enfriamiento en alimentos, ya sea en cámaras de conservación con difusores de aire, o en la fase de enfriamiento en la pasteurización de productos lácteos (*Dossat, 1998*).

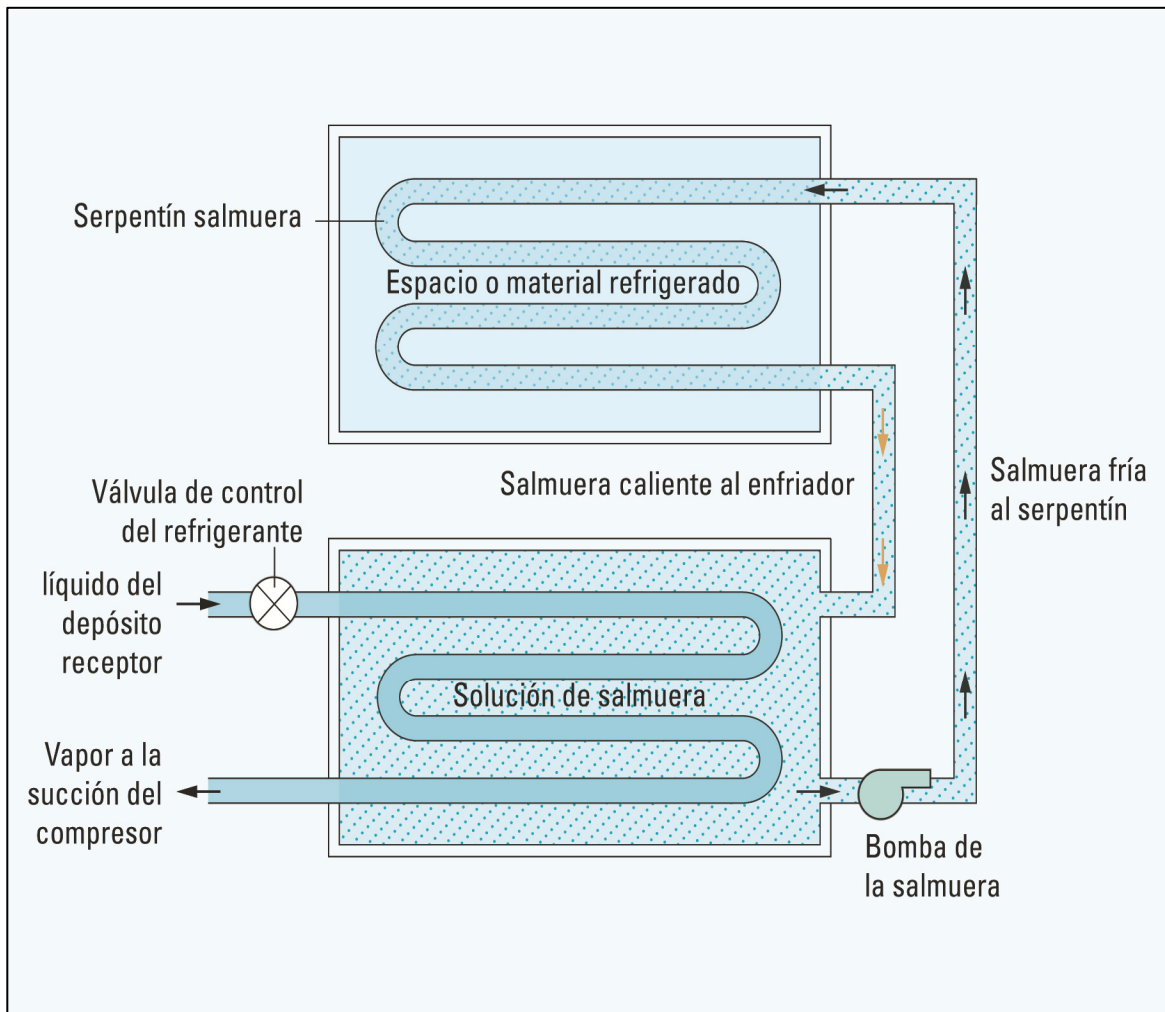


Figura 7. Sistema indirecto (Dossat, 1998).

En la actualidad el amoníaco se utiliza cada vez más en instalaciones frigoríficas industriales y públicas debido a que en los equipos actuales se utilizan bajas cantidades de este refrigerante. Los sistemas de enfriamiento indirecto están adquiriendo también un mayor uso. En estos casos es importante evitar situaciones de riesgo. El miedo es el mayor peligro existente en la utilización del amoníaco como refrigerante, por causa de su olor y mala reputación.

Cada vez que se produce un accidente con una instalación de amoníaco, existe una gran proliferación de información errónea. Incluso frecuentemente el incidente nada tiene que ver con una instalación frigorífica.

Con los sistemas indirectos, el riesgo de accidentes se limita únicamente al interior de la sala de máquinas. En los espacios ocupados por el público únicamente se encuentra presente un fluido secundario, no tóxico e inflamable.

Los sistemas secundarios se han utilizado desde que empezó a funcionar la refrigeración mecánica, la mayoría con las ya mencionadas clásicas salmueras o con agua helada. La única objeción a su uso sería el bajo Índice de la Conversión de Energía de un Compresor (COP) comparado con el de los sistemas directos. Esto no es siempre así, porque el sistema indirecto permite utilizar la acumulación de frío, lo cual compensa el mayor coste de energía debido a que la instalación tiene que enfrentarse con dos “saltos de temperatura”, por consiguiente con una temperatura de evaporación más baja.

No obstante hoy en día existen nuevos desarrollos relacionados con la eficiencia de los fluidos frigoríferos, por ejemplo, las características de intercambio térmico, y la eficiencia de los sistemas. En términos generales existen actualmente intercambiadores de alto rendimiento como lo son los intercambiadores de placas disponibles.

En general las ventajas del enfriamiento indirecto son las siguientes:

- Utiliza menos refrigerante primario (menos volumen de tuberías), menor cantidad de refrigerantes que dañan el ambiente como los HFC y los costes de inversión y mantenimiento son más bajos (menos fugas debido al número menor de uniones soldadas) Menor carga de amoníaco, lo cual es bueno por razones de seguridad. Con lo que se obtiene de un 70 a un 90 % menos de refrigerante en la planta.
- Existe, en la mayoría de los casos, una única válvula termostática en el sistema. También pueden utilizarse sistemas inundados con válvulas de flotador. La temperatura de condensación puede ajustarse por períodos, por

lo tanto cabe beneficiarse de los costos de energía, incluso cuando se utiliza expansión directa.

- No existen pérdidas por recalentamiento en los enfriadores de aire. Son más eficientes, pues toda la superficie interior se encuentra inundada (*Koelet, 1997*).

CAPÍTULO 2

BANCOS DE HIELO

Los sistemas de almacenamiento térmico (bancos de hielo), han existido por muchos años. El propósito de un sistema de banco de hielo es crear energía térmica y almacenarla para su utilización posterior (*BAC Ice Chiller Thermal Storage Units, 1997*).

El banco de hielo, en particular es un método práctico de almacenamiento de frío. El elevado calor latente de fusión del hielo permite una gran capacidad de almacenamiento en espacios pequeños y la baja temperatura de fusión del hielo suministra al sistema de enfriamiento una fuente constante de agua enfriada a bajas temperaturas (*EVAPCO, 1999*).

2.1. Principio de operación.

En el Banco de hielo se utiliza agua en circulación forzada, que es enfriada al pasar sobre un bloque de hielo formado en un tanque de refrigeración. Este sistema requiere la instalación de compresores relativamente pequeños, que trabajan entre 80 y 90% del tiempo, esto es, casi durante todo el día.

En estos equipos la temperatura del agua es constante debido a la uniformidad de la superficie helada y presentan excelente coeficiente de transferencia debido a la elevada turbulencia (*FRICK, 1997*).

Un banco de hielo es un evaporador de tipo sumergido que puede ser de serpentines o paneles.

El banco de hielo tiene dos fases principales de operación. En la primera fase, el evaporador sirve como superficie de absorción de calor conteniendo al refrigerante que se mueve a través éste, el cual absorbe el calor del agua

alrededor del evaporador. El agua comienza a transformarse en hielo tan pronto como la temperatura del tanque de agua empieza a bajar hasta el punto de congelación. El refrigerante continúa el flujo a través del evaporador hasta que el hielo forma un cuerpo sólido que cubre el sensor del evaporador. Cuando el hielo ha cubierto el sensor, el interruptor de control se abre provocando que el compresor se detenga.

La segunda fase de operación ocurre cuando la carga de calor es introducida dentro del tanque de agua por la compuerta. Conforme el agua tibia fluye a través del tanque ésta empieza a derretir el hielo. Esta agua fría es bombeada hacia la fuente de alta temperatura para continuar el ciclo de transferencia de calor. El efecto de mantener una temperatura constante en el agua de salida depende del apropiado control de agua desde y hacia el tanque. Es necesario proveer aire comprimido al tanque durante esta fase de operación para alcanzar una buena turbulencia entre el agua y el hielo y asegurar su derretimiento. La figura 8 ilustra la manera en que las burbujas de aire hacen que circule el agua dentro del tanque alrededor de cada serpentín o panel, para ayudar a la fusión del hielo.

Las dos fases de operación mencionadas anteriormente pueden estar ocurriendo simultáneamente. Normalmente este tipo de operación se da cuando se utiliza el banco de hielo para cubrir picos de carga térmica, reduciendo así los requerimientos de potencia eléctrica al utilizar paquetes de refrigeración más pequeños y por tiempos de hasta 24 horas por día; por lo que los compresores operan continuamente durante 24 horas generando hielo para cubrir la carga térmica total (*FRICK, 1997*).

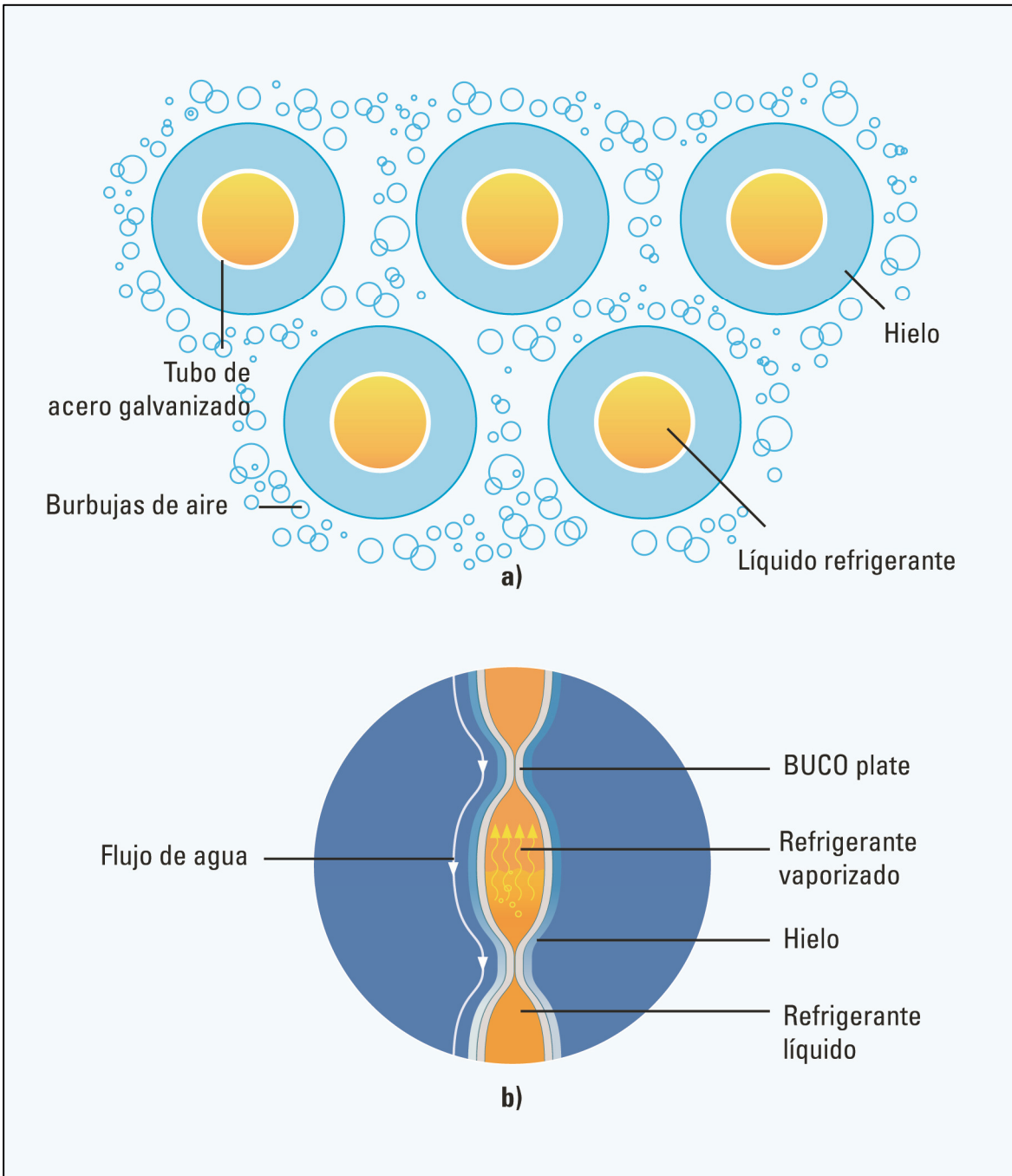


Figura 8: a) Formación de hielo alrededor de los serpentines (FRICK, 1997); b) formación de hielo sobre el panel (BUCO Ice Bank, 2005).

2.2. Bancos de hielo de serpentines.

Este tipo de banco de hielo es un evaporador del tipo sumergido que consta básicamente de serpentines de tubos inmersos en un estanque de agua los cuales están llenos de un refrigerante frigorígeno o un refrigerante frigorífero para causar, debido a la absorción de calor por evaporación o a la absorción de calor sensible, la formación de hielo alrededor de los tubos. A continuación en la figura 9 se muestran los componentes básicos de un banco de hielo de serpentines.

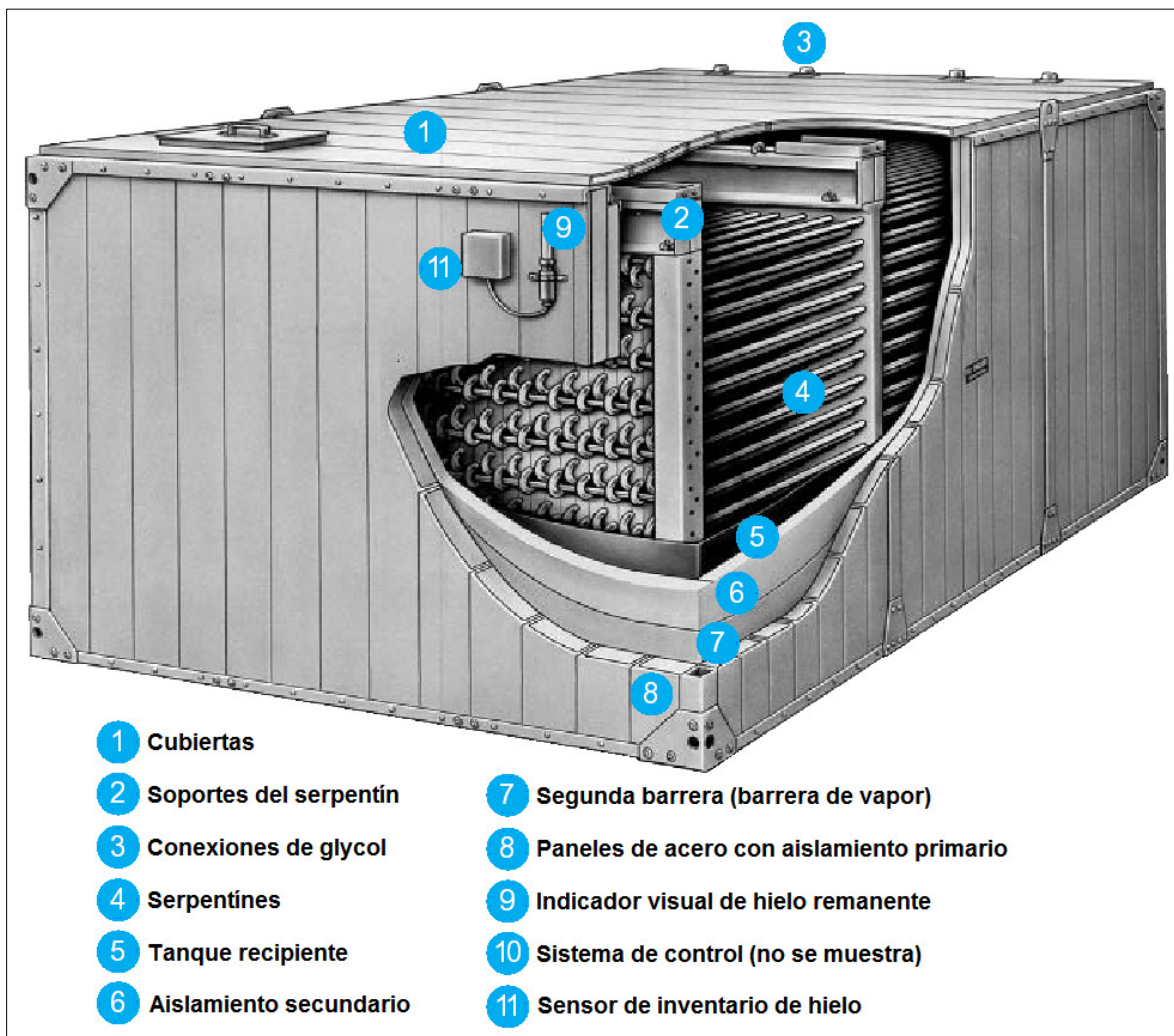


Figura 9: Banco de hielo de serpentines (*BAC Ice Chiller Thermal Storage Units, 1997*).

2.2.1. Características de equipo y condiciones de operación.

Las características, capacidades y condiciones de operación de los bancos de hielo de serpentines varían respecto a la literatura y al diseño de los mismos, por lo que a continuación mencionaremos algunos datos recopilados bibliográficamente y algunas especificaciones de los fabricantes más reconocidos.

Los materiales más comunes para la fabricación de los serpentines de tubo de los bancos de hielo son acero galvanizado, acero inoxidable y en algunas aplicaciones comerciales de cobre o plástico. Estos serpentines son probados normalmente a presiones de aire de 14 hasta 30 bares bajo el agua para prever fugas.

Los depósitos para los bancos de hielo pueden ser construidos con materiales tales como concreto armado, acero galvanizado o acero inoxidable. Este depósito normalmente es recubierto con paneles de aislamiento de poliuretano o poliestireno con espesores entre 2" y 4".

La agitación que provoca la turbulencia dentro del banco de hielo es provocada por la inyección de aire a presión a través de un circuito de tuberías en el fondo del depósito. Algunas técnicas de agitación ya menos empleadas son la agitación mecánica que se genera a través del movimiento de propelas conectadas a un motor eléctrico.

Los fluidos refrigerantes más empleados comúnmente en los bancos de hielo son los glicoles, los freones y el amoniaco entre otros.

Las temperaturas recomendadas del agua en la operación de los bancos de hielo van de 0,5°C a un 1°C a la salida del banco y los diferenciales de temperatura de retorno entre 5 y 10°C. Aunque en la literatura se menciona que las temperaturas del agua que sale del banco en la fase de deshielo va de 1°C

hasta 3°C dependiendo realmente de la carga de calor del agua de retorno (*Stoecker, 1998*).

En los casos cuando los bancos de hielo operan con fluidos frigoríferos como medio de enfriamiento dentro de los tubos y fluidos frigorígenos como medio de enfriamiento remoto del refrigerante frigorífero, las temperaturas recomendadas para el refrigerante frigorífero (NH₃ o Freones), es de un diferencial de 1 a 2°C por debajo de la temperatura mínima del fluido frigorífero (glicol o salmuera), que para estos casos se encontrará a una temperatura mínima entre -5 y -9°C, por lo tanto el fluido frigorífero evapora entre -7 y -11°C. También se ha demostrado que en este tipo de equipos, el sistema de alimentación del fluido frigorífero a los serpentines con arreglo a contracorriente es más eficiente que el arreglo a cocorriente (*BAC Ice Chiller Thermal Storage Units, 1997*).

En los casos cuando el fluido frigorífero es el medio de enfriamiento directo en el banco las temperaturas de evaporación pueden variar entre -3 y -10°C.

Los espesores típicos en los bancos de hielo son de hasta 50 o 60 mm. (2" a 2 ½"), y son controlados a través de un sensor dieléctrico (*Stoecker, 1998*).

En la tabla 1 se mencionan algunas capacidades y volúmenes estándar de bancos de hielo de serpentines disponibles actualmente.

Las dimensiones de bancos de serpentines convencionales varían en ancho de 2.4m a 3.6m, de largo de 3.3m a 6m y la altura es comúnmente de 2.4m.

Aunque los datos de capacidades y volúmenes anteriormente mencionados están basados en equipos estándar, existen proyectos especiales de bancos de hielo desde capacidades bajas como 300 KWh hasta capacidades muy altas de 500000 KWh (*BAC Ice Chiller Applications, 2001*).

Tabla 1. Capacidades y volúmenes de diferentes modelos estándar de bancos de hielo de serpentines.

Característica	Modelo A	Modelo B	Modelo C	Modelo D
Capacidad de almacenamiento en KWh	833	1674	2089	2676
Capacidad de almacenamiento en Kg de hielo	9005	18097	22583	28929
Volumen del depósito de agua en m ³	11.31	22.10	28.29	34.63

(BAC applications, 2001)

2.3. Bancos de hielo de paneles.

Este tipo de banco de hielo es un evaporador del tipo sumergido que consta básicamente de paneles de doble placa como se muestra en la figura 10, inmersos en un estanque de agua los cuales están llenos de un refrigerante frigorígeno propiciando la formación de hielo en la superficie exterior de los paneles debido a la absorción de calor por evaporación. Un esquema básico de este equipo se muestra en la figura 11.



Figura 10. Enfriador de evaporador sumergido (BUCO Presentación de Productos, 2007).

2.3.1. Características de equipo y condiciones de operación.

Las características, capacidades, condiciones de operación y algunas especificaciones del fabricante de los bancos de hielo de paneles se mencionan a continuación.

El material más común para la fabricación de los paneles es el acero inoxidable. Estos paneles son probados normalmente a presiones de aire de hasta 30 bares bajo el agua para prever fugas.

Los depósitos para estos bancos de hielo pueden ser construidos con materiales tales como acero inoxidable o concreto armado. Este depósito normalmente es recubierto con paneles de aislamiento de poliuretano o poliestireno con espesores entre 2" y 4".

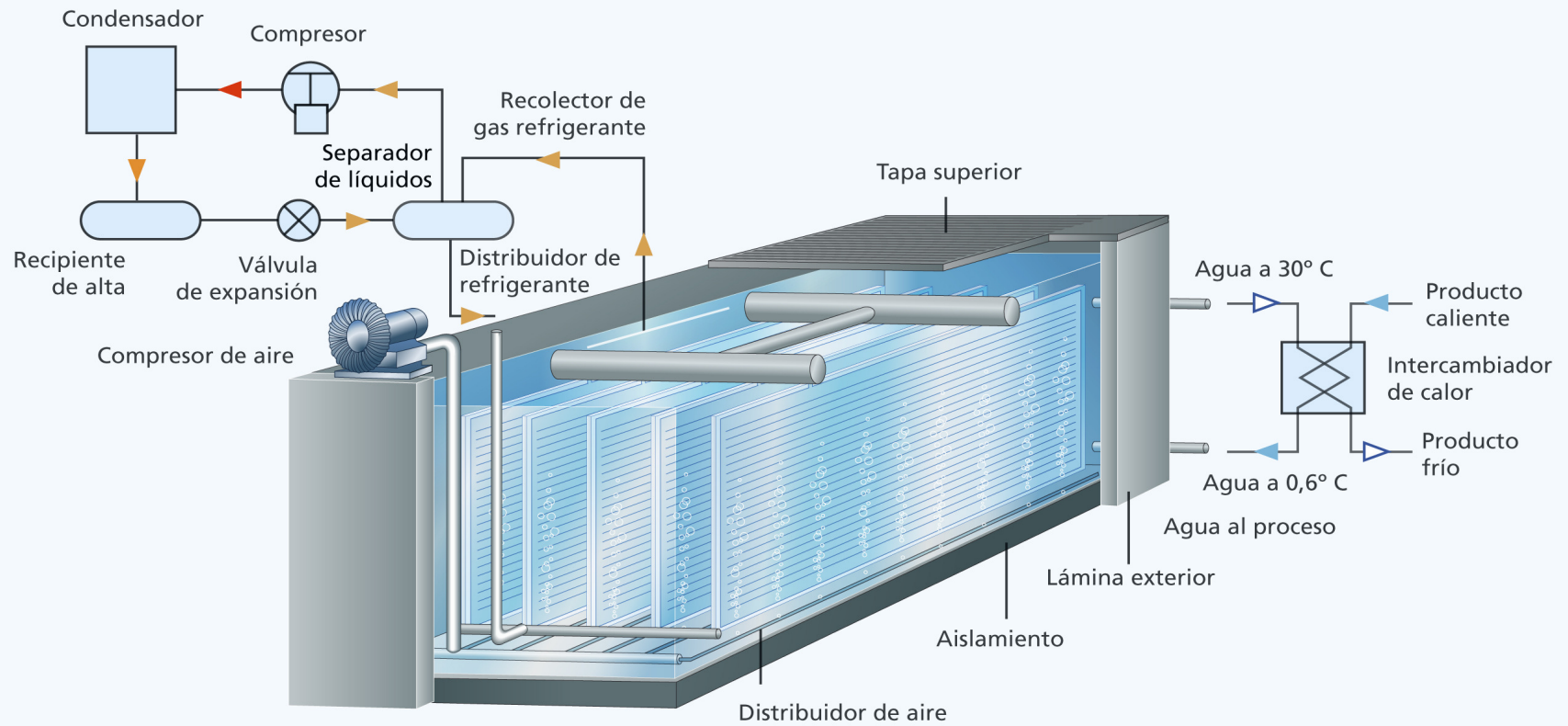
La agitación que provoca la turbulencia dentro del banco de hielo es provocada por la inyección de aire a presión a través de un circuito de tuberías en el fondo del depósito.

Los refrigerantes más empleados comúnmente en los bancos de hielo son los freones y el amoníaco entre otros refrigerantes frigorígenos.

Las temperaturas recomendadas del agua en la operación de los bancos de hielo son de 0,5°C a un 1°C a la salida del banco y los diferenciales de temperatura de retorno entre 5 y 10°C. Este tipo de bancos aseguran temperaturas de salida de agua constantes debido a que la superficie de hielo se mantiene constante durante todo el proceso de deshielo.

Las temperaturas de evaporación recomendadas del refrigerante frigorígeno dentro de los paneles varían entre -8 y -12°C,

BUCO Ice-Chill Banco de Hielo



BUCO GmbH International © 2007

Figura 11: Banco de hielo de paneles (BUCO Presentación de Productos, 2007).

Los espesores típicos en los bancos de hielo son de hasta 50 mm. (2”), y son controlados a través de sensores dieléctricos (*BUCO Manual de transferencia de calor, 2001*).

En la tabla 2 se mencionan algunas capacidades y volúmenes estándar de bancos de hielo de paneles disponibles actualmente.

Las dimensiones de bancos de paneles convencionales son de ancho 2.3m, de largo de 0.53m a 11.7m y la altura es comúnmente de 2.2m.

Tabla 2. Capacidades y volúmenes de diferentes modelos estándar de bancos de hielo de paneles.

Característica	Modelo A	Modelo B	Modelo C	Modelo D
Capacidad de almacenamiento en KWh	50	500	1000	1800
Capacidad de almacenamiento en Kg de hielo	540	5400	10800	19440
Volumen del depósito de agua en m ³	2.65	8.48	33.41	58.32

(BUCO ice bank, 2005)

CAPÍTULO 3

ENFRIADORES INSTANTANEOS

En los últimos años los bancos de hielo han sido los sistemas de refrigeración empleados en la industria láctea debido a que durante el procesamiento de leche existen demandas pico en la capacidad de enfriamiento por periodos de tiempo cortos. Este problema puede ser resuelto con el uso de hielo como medio de almacenamiento de energía.

Debido a la diversificación de los productos lácteos y los cambios en los métodos de recolección de la leche bronca, el almacenamiento de energía en forma de hielo viene a ser menos importante ya que las corridas de pasteurización son cada vez más continuas. Los bancos de hielo tienen varias desventajas contra los enfriadores del tipo instantáneo. Esto es por lo que estos modernos equipos con variantes de optimización de energía son más y más empleados hoy día. Comparados con los sistemas convencionales de almacenamiento de hielo los cuales trabajan con un valor muy bajo del coeficiente global de transferencia de calor U en los casos en los que se forma hielo alrededor de los tubos, los enfriadores instantáneos trabajan con valores de U que son de 30 a 50 veces más altos que los sistemas convencionales, debido a la corrugación de las placas. Otra importante ventaja de estos equipos es su material de fabricación, el cual es casi siempre acero inoxidable como lo requieren las normas internacionales más estrictas para el suministro de agua helada (Klüe, 2005).

Los enfriadores instantáneos representan una de las mejores opciones a emplear cuando las cargas del sistema son muy constantes.

3.1. Principio de operación.

Los enfriadores instantáneos son básicamente intercambiadores de calor y como su nombre lo indica, se emplean para enfriar fluidos en un proceso. El agua

en este caso es el medio a enfriar por la acción de la evaporación de un refrigerante frigorígeno en el otro extremo del intercambiador.

Un intercambiador de calor es un equipo que continuamente transfiere calor de un medio a otro.

Las leyes naturales de la física siempre permiten la transferencia de energía en un sistema el cual fluye hasta encontrar el equilibrio. El calor deja al cuerpo tibio o el más caliente y será transferido al medio más frío, dándose este fenómeno siempre y cuando exista un diferencial de temperaturas.

Los enfriadores instantáneos al ser intercambiadores de calor siguen este principio al tratar por todos los medios de alcanzar el equilibrio. En estos intercambiadores el calor penetra fácilmente la superficie de transferencia, la cual separa el medio caliente del medio frío. Por lo tanto es posible calentar o enfriar fluidos o gases que tengan niveles de energía mínimos (*ALFA LAVAL Heat Transfer, 2003*).

Los enfriadores instantáneos son intercambiadores de calor del tipo indirecto, en donde ambos medios (agua y refrigerantes) son separados por una pared a través de la cual el calor es transferido. En estos equipos la transferencia de calor se efectúa por convección desde el fluido caliente (agua) a la pared, a través de la pared por conducción, y luego por convección al fluido frío (refrigerante) (*Geankoplis, 1998*).

3.2. Enfriadores de placas semisoldadas.

El enfriador de placas semisoldadas es muy durable, además de las ventajas de su tamaño compacto y su versatilidad. Estos equipos consisten de numerosas placas que son colocadas paralelamente de tal forma que cuando son atornilladas unas con otras uno de los fluidos fluye entre dos de las placas y el otro

fluido entre el par adyacente de placas. Las placas son corrugadas bajo un patrón de espigas el cual refuerza físicamente las placas, promoviendo también la turbulencia en los fluidos para así obtener excelentes coeficientes de transferencia de calor (Figura 12).

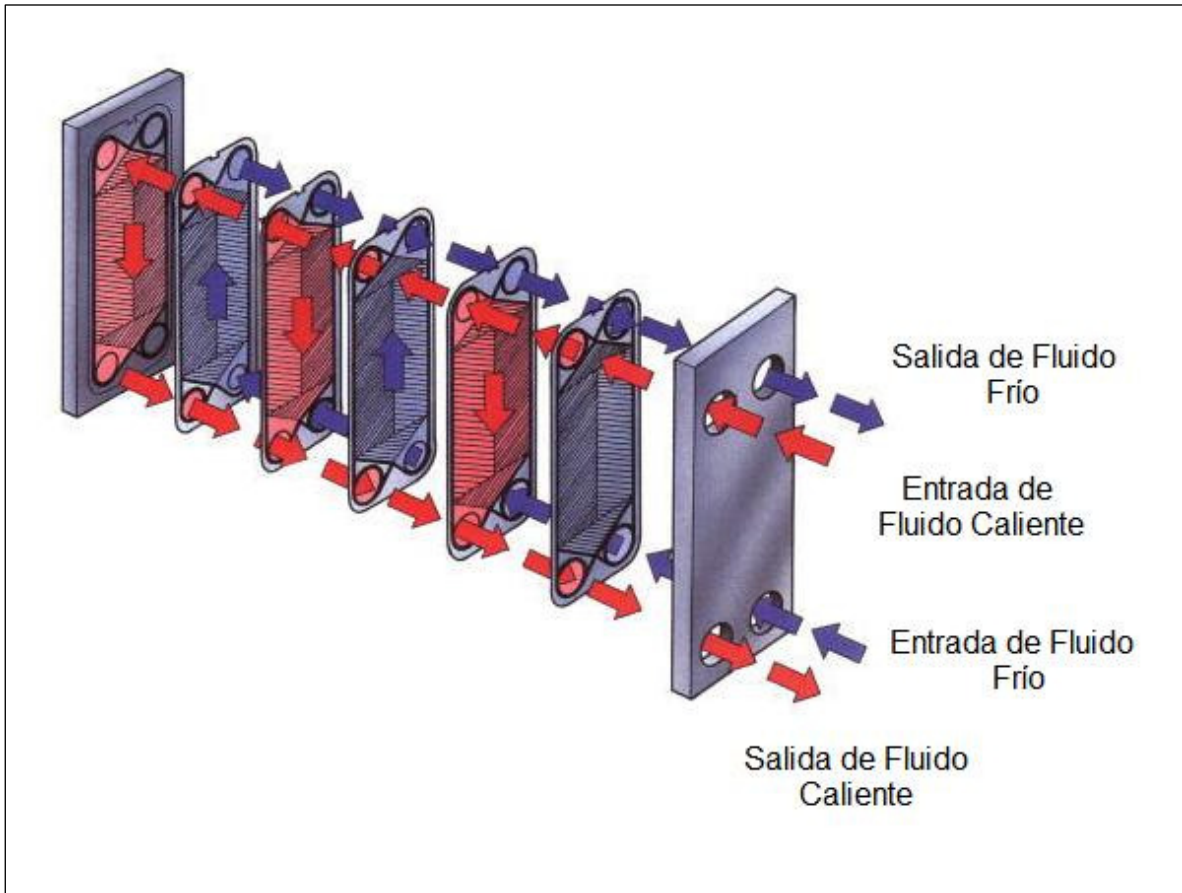


Figura 12. Conformación de placas soldadas (ALFA LAVAL Heat Transfer, 2003).

En estos equipos las posiciones de los patrones de espiga en las placas adyacentes son opuestas, formando un patrón entrecruzado, el cual crea puntos de soporte donde se encuentran los bordes perfilados de cada placa, como se puede observar en la figura 13. Cuando estas placas son comprimidas en un marco, estos puntos proveen suficiente rigidez para eliminar la vibración por inducción y permitirle un diseño para altas presiones. De la misma forma es

posible en caso de congelación, tener movimientos de expansión-elongación en los tres ejes debido a que en el marco no hay partes soldadas.

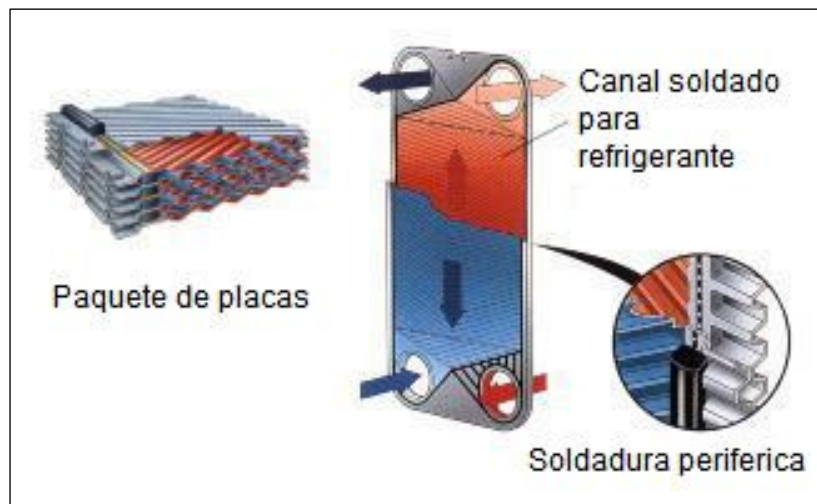


Figura 13. Diseño de las placas semisoldadas (*ALFA LAVAL Industrial Refrigeration, 2003*).

Uno de los inconvenientes en la aplicación de este tipo de intercambiadores en la refrigeración industrial era el cómo sellar el paso del refrigerante. Esto se resolvió a través de la construcción de un intercambiador en el cual en lugar de que las placas del paso del refrigerante fuesen libremente separables éstas fueran totalmente soldadas en pares (*Stoecker, 1998*).

Un solo cordón continuo de soldadura láser une dos placas para formar un casete. La separación de empaques de anillo para el refrigerante y empaques de campo para el fluido de proceso en cada casete, permite mayor flexibilidad en la selección de su material, basada en los fluidos y las temperaturas. Un diseño especial del área sobre la placa entre el empaque de anillo y el empaque de campo permite el venteo a la atmósfera eliminando virtualmente la posibilidad de contaminación cruzada.

La operación de este equipo se basa en enfriar un fluido de proceso, el cual entra a través de su puerto inferior derecho fluyendo verticalmente sobre ambos

lados de los casetes soldados hasta salir por el puerto superior derecho. Este fluido es contenido en los casetes no soldados por medio de un empaque a lo largo del perímetro del casete. A medida que el fluido de proceso fluye dentro de los casetes empaquetados, el refrigerante dentro de los casetes soldados absorbe su calor (Figura14).

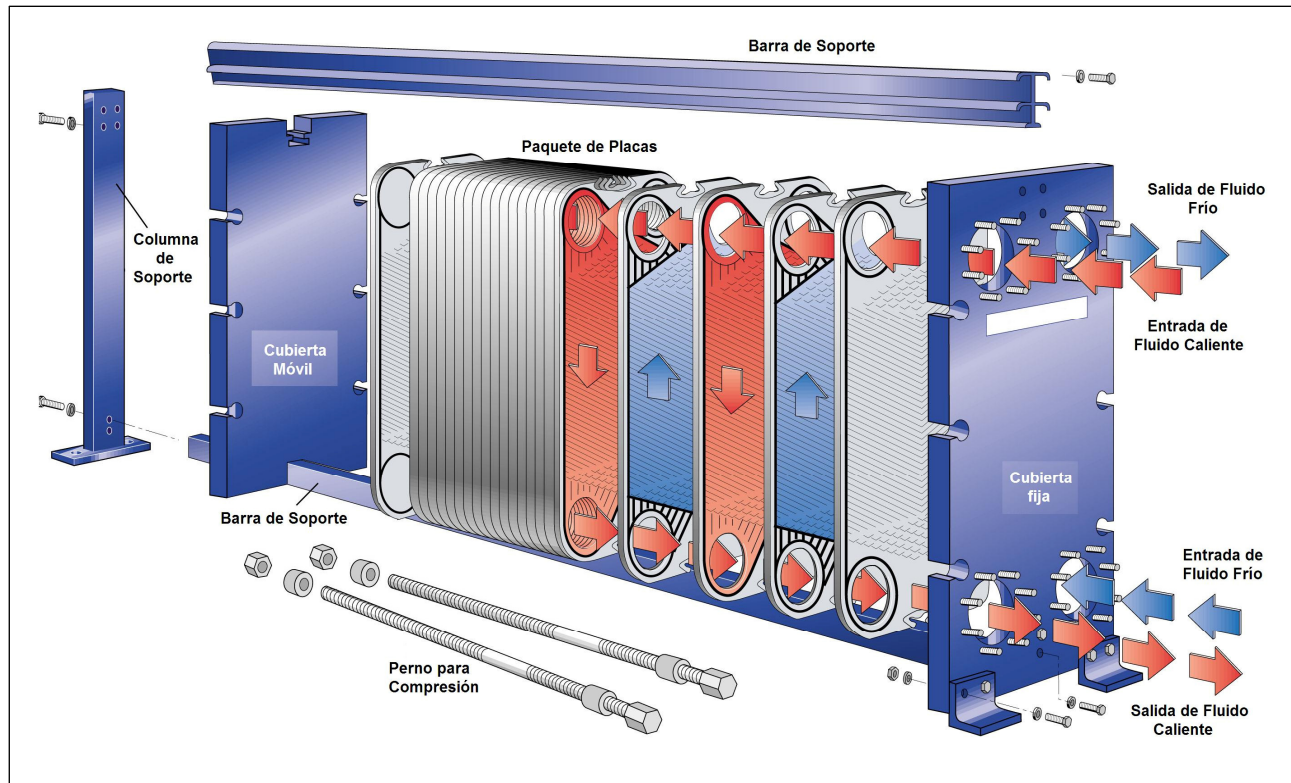


Figura 14. Enfriador de placas semisoldadas (ALFA LAVAL Industrial Refrigeration, 2003).

El líquido refrigerante frío entra a través del puerto inferior izquierdo y fluye dentro de un casete soldado con láser. El cordón de soldadura láser sella el perímetro del casete extendiéndose diagonalmente frente a los dos puertos laterales derechos, lo cual crea una cámara sellada para el refrigerante. Empaques de anillo sobre ambos lados de los puertos izquierdos crean un sello entre los casetes. A medida que el refrigerante frío viaja hacia arriba de las placas dentro de los casetes sellados, absorbe el calor del fluido de proceso caliente y

comienza a ebulir. Un fluido refrigerante en dos fases sale de los casetes sellados a través del puerto superior izquierdo (*ALFA LAVAL Industrial Refrigeration, 2003*).

3.2.1. Características de equipo y condiciones de operación.

Las características, capacidades y condiciones de operación de los enfriadores de placas semisoldadas varían respecto a la literatura y al diseño de los mismos, por lo que a continuación mencionaremos algunas especificaciones de los fabricantes más reconocidos.

Los materiales más comunes para la fabricación de las placas de los casetes son el acero inoxidable y el titanio; para los marcos y soportes se utiliza acero al carbón o acero inoxidable y para los empaques diversos tipos de cauchos (*THERMOWAVE, 2004*).

Los refrigerantes más empleados comúnmente en los enfriadores de placas semisoldadas son los freones y el amoniaco entre otros. En comparación con otros equipos, su carga de refrigerante es considerablemente baja para las mismas capacidades y esto es debido a un menor tamaño en relación a los otros.

Las temperaturas mínimas de salida del agua recomendadas en la operación de estos equipos son de 3°C a 4°C para evitar posibles riesgos de congelación. Este tipo de equipos permiten contar con diferenciales de temperatura muy cercanos a 1°C.

Cuando la alimentación del refrigerante al enfriador es de tipo inundado el flujo de los fluidos dentro del intercambiador se recomienda en cocorriente y en los casos de alimentación de expansión directa se recomienda en contracorriente.

La temperatura de evaporación recomendada para optimizar el enfriamiento de agua sin riesgos de congelación para este tipo de enfriadores es de 0°C.

Debido a su tamaño compacto este equipo cuenta con la posibilidad de ensamblarse y desensamblarse con fines de inspección y del cambio de los empaques recomendado por el fabricante (4-5 años). Esto le permite al equipo poder adicionarle placas para incrementar su capacidad.

Los espesores de las láminas que forman los casetes varían de 0.5 a 0.8 mm (*THERMOWAVE, 2004*).

Tabla 3. Características de algunos enfriadores de placas semisoldadas

Especificaciones	MA30W	TM20B	MK15BW	M6MW
Capacidad nominal (TR)	3,000	800	450	70
Rango de presión (psi)	Del vacío a 350	Del vacío a 715	Del vacío a 360	Del vacío a 360
Rango de temperatura (°C)	-28.8 a 120	-51 a 343.3	-40 a 120	-40 a 120
Alto (m)	3.00	2.00	1.50	0.95
Ancho (m)	1.00	0.85	0.70	0.35
Longitud máxima (m)	5.20	1.70	2.70	1.60

(ALFA LAVAL Industrial refrigeration, 2003)

3.3. Enfriadores de película descendente.

El enfriador de película descendente o enfriador tipo Baudelot consiste de un panel vertical que puede ser formado por tubos horizontales localizados uno a bajo de otro y unidos entre sí para formar un circuito o también puede ser formado por 2 laminas soldadas una sobre otra e infladas por medio de presión para formar canales internos en forma de almohadillas (figura 15) Ya sea con funcionamiento

de expansión, inundado o recirculado, el refrigerante fluye por el interior de los paneles mientras que el agua a enfriarse fluye como una película delgada sobre el exterior de los mismos. El agua fluye bajando sobre los paneles por la acción de la gravedad desde una bandeja de distribución con orificios localizada en la parte alta del enfriador y es recolectada en un tanque aislado colocado en la parte inferior.

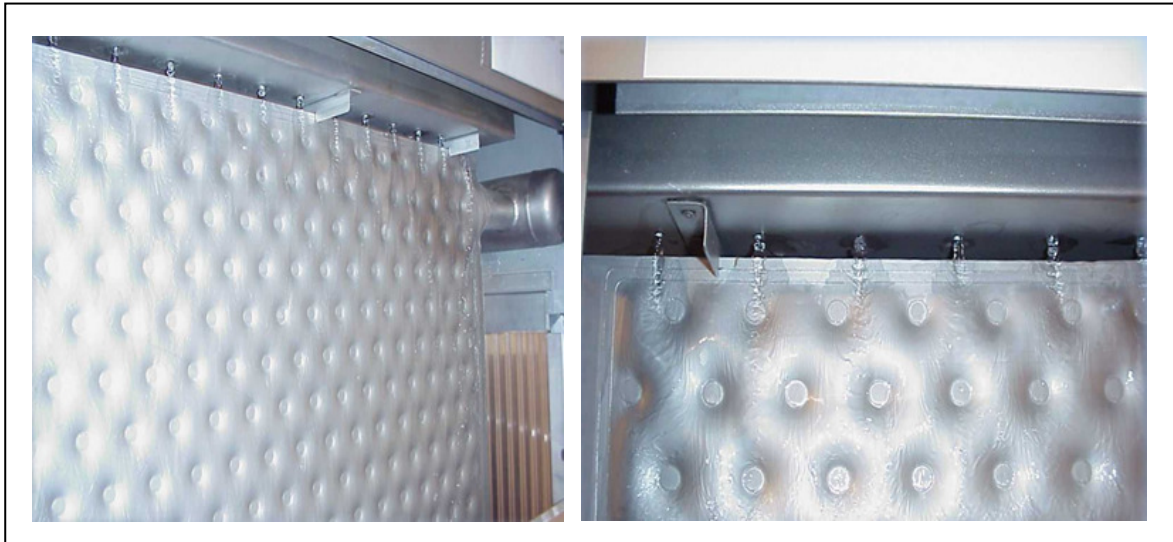


Figura 15. Paneles del enfriador tipo Baudelot (*BUCO Presentación de Productos, 2007*).

El Enfriador de Película Descendente (Figura 16) consiste de las siguientes partes principalmente: sistema de distribución para el agua, sistema de intercambio de calor (paneles), estructura y carcasa, y tanque de almacenamiento para el medio externo.

El sistema distribuidor del agua abarca la bandeja de distribución perforada así como uno o más canales de distribución. El propósito de la bandeja de distribución es distribuir uniformemente el medio sobre los paneles de transferencia de calor, así como lograr una película fina de agua sobre las placas.

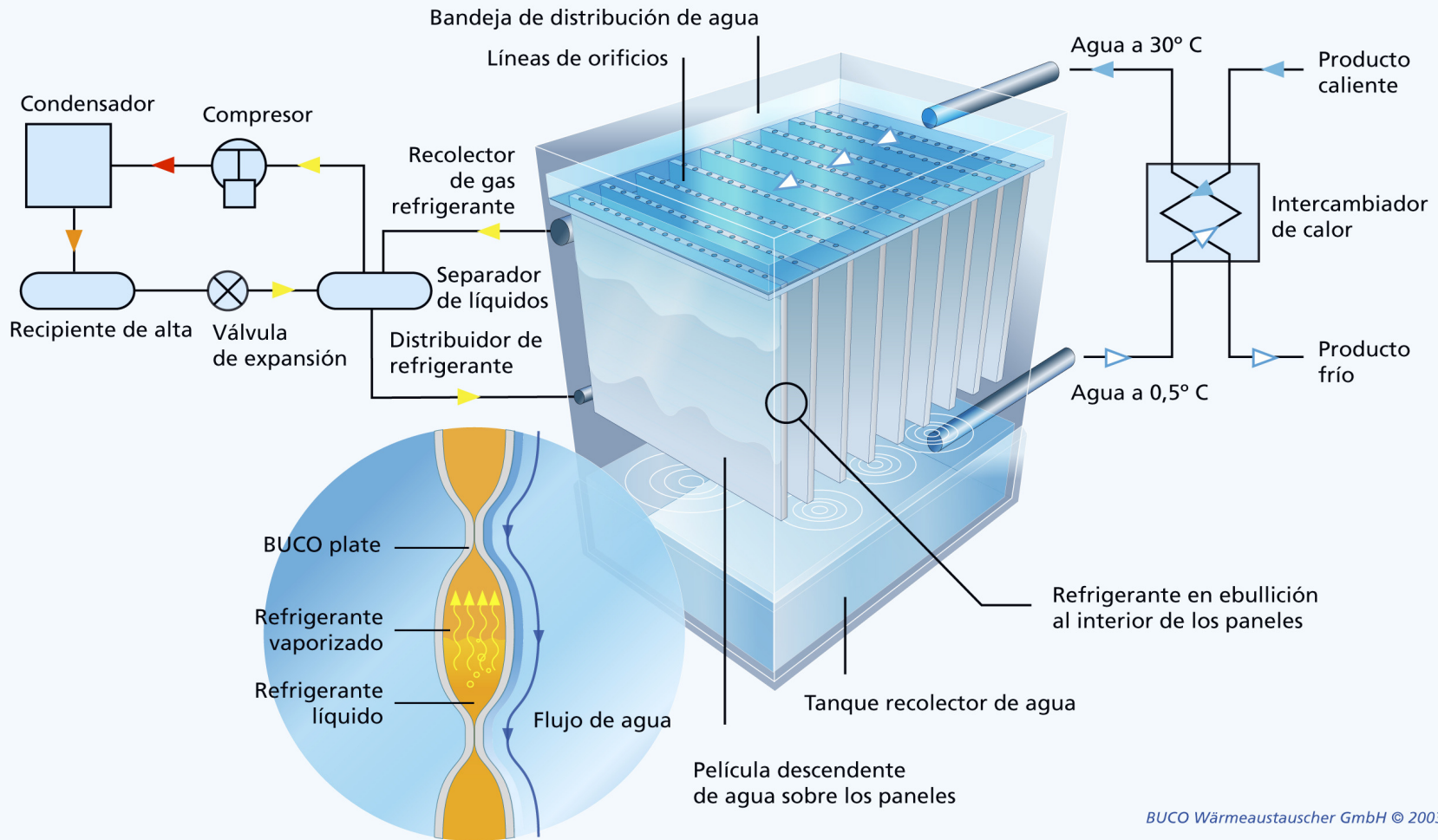
El sistema intercambiador de calor consiste de un arreglo vertical de paneles de intercambio de calor que contiene el refrigerante y el medio pasando por el exterior. El refrigerante líquido es introducido por la parte baja de los paneles a través de tubos de distribución. La salida de refrigerante es realizada por medio de un tubo ensamblado en la parte superior de los paneles de intercambio de calor. En general, este principio de contra flujo es válido para refrigerantes evaporables. Refrigerantes líquidos (no evaporables), pueden ser conectados en contracorriente como también en flujo paralelo.

La estructura sostiene los paneles de intercambio de calor así como la bandeja de distribución. De la misma manera, adjuntas a la estructura están las cubiertas de la carcasa, las cuales normalmente son desmontables para propósitos de inspección y limpieza.

El tanque de almacenamiento contiene el agua que es bombeada hacia el proceso por medio de una bomba. El tanque está equipado con una estructura que soporta el sistema de intercambio de calor. En algunas ocasiones este tanque tiene un aislamiento de 50mm a 100mm de espesor de paneles sintéticos (libres de CFC y clorinas) con diseño a pruebas de vapor de agua y con una capa externa de protección hecha de metal o de material plástico.

Este equipo funciona básicamente de la siguiente forma: El agua que va a ser enfriada es bombeada a la bandeja superior de distribución. Desde esta bandeja el agua es distribuida uniformemente sobre los paneles de intercambio de calor en una película delgada. El actual proceso de transferencia de calor (como regla del enfriamiento) ocurre durante este instante. El agua una vez fría debido a la evaporación del refrigerante que se encuentra confinado dentro de los paneles de transferencia de calor es recolectada en el tanque de almacenamiento ubicado en la parte inferior del equipo y así retornar fría al sistema (*BUCO Delot, 2006*).

BUCO delot película descendente



BUCO Wärmeaustauscher GmbH © 2003

Figura 16: Enfriador de película descendente (*BUCO Presentación de Productos, 2007*).

Con este tipo particular de enfriador es posible enfriar líquidos a una temperatura muy cercana al punto de congelación sin el peligro de dañar al equipo si ocasionalmente se tuviera congelación del agua.

Este equipo es muy eficiente en aplicaciones donde el agua presente partículas de suciedad. Otra ventaja de este sistema son sus bajos costos de bombeo debido a su operación abierta (Figura 17).



Figura 17. Enfriador tipo Baudelot (*BUCO Presentación de Productos, 2007*).

3.3.1. Características de equipo y condiciones de operación.

Las características, capacidades y condiciones de operación de los enfriadores de película descendente varían respecto a la literatura y al diseño de los mismos, por lo que a continuación mencionaremos algunas especificaciones de los fabricantes más reconocidos.

Los materiales más comunes para la fabricación de estos equipos son el acero inoxidable tipo 304, el tipo 316 y el titanio.

Debido a su diseño abierto estos enfriadores son libres de empaque, lo que les permite una fácil limpieza.

Los refrigerantes más empleados comúnmente en los enfriadores de película descendente son el amoníaco y los freones entre otros.

En comparación con otros equipos, su carga de refrigerante es considerablemente baja para las mismas capacidades y esto es debido a un menor tamaño en relación a los demás.

Las temperaturas mínimas de salida del agua en la operación de estos equipos son de 0,0°C a 0,5°C. Este tipo de equipos permiten contar con diferenciales de temperatura muy cercanos a 1 °C.

Cuando la alimentación del refrigerante al enfriador es de tipo inundado el flujo de los fluidos dentro del intercambiador se recomiendan en contracorriente y en los casos de alimentación del tipo expansión directa la recomendación es en cocorriente para pequeños diferenciales de temperatura y en contracorriente para grandes diferenciales.

La temperatura de evaporación recomendada para optimizar el enfriamiento de agua y evitar la disminución de la capacidad por formación de hielo para este tipo de enfriadores es de $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$

Estos enfriadores pueden estar preparados para futuros crecimientos de capacidad, con la adición de más paneles.

Los espesores de las láminas que forman los casetes varían de 0.8 a 1.0 mm.

Comercialmente estos equipos se diseñan para capacidades desde 5 kW hasta 5000 kW (*BUCO Falling Film Chiller, 2005, CHESTER JENSEN COMPANY, 1997*).

3.4. Enfriadores de casco y placas.

El enfriador de casco y placas (figura 18) está diseñado de tal forma que combina las mejores características de los enfriadores de placas semisoldadas y los enfriadores convencionales de casco y tubo. En el interior de estos enfriadores se encuentra un paquete de casetes de placas circulares totalmente soldadas; este paquete se encuentra montado y protegido por un casco el cual es un recipiente a presión. Estos enfriadores ofrecen altos coeficientes de transferencia de calor.

Además de las ventajas en su tamaño compacto y su versatilidad, el enfriador de casco y placas es muy durable. Esto es debido a que los casetes de placas circulares al ser soldados en su totalidad y a su propia estructura proveen suficiente rigidez para eliminar la vibración por inducción y permitirle un diseño para muy altas presiones. Una gran ventaja en la estructuración de este tipo de equipos es que los fabricantes han demostrado que el equipo puede sufrir congelación sin detrimento de sus características mecánicas debido a que los casetes están contenidos en un recipiente a presión que hace la función de marco.

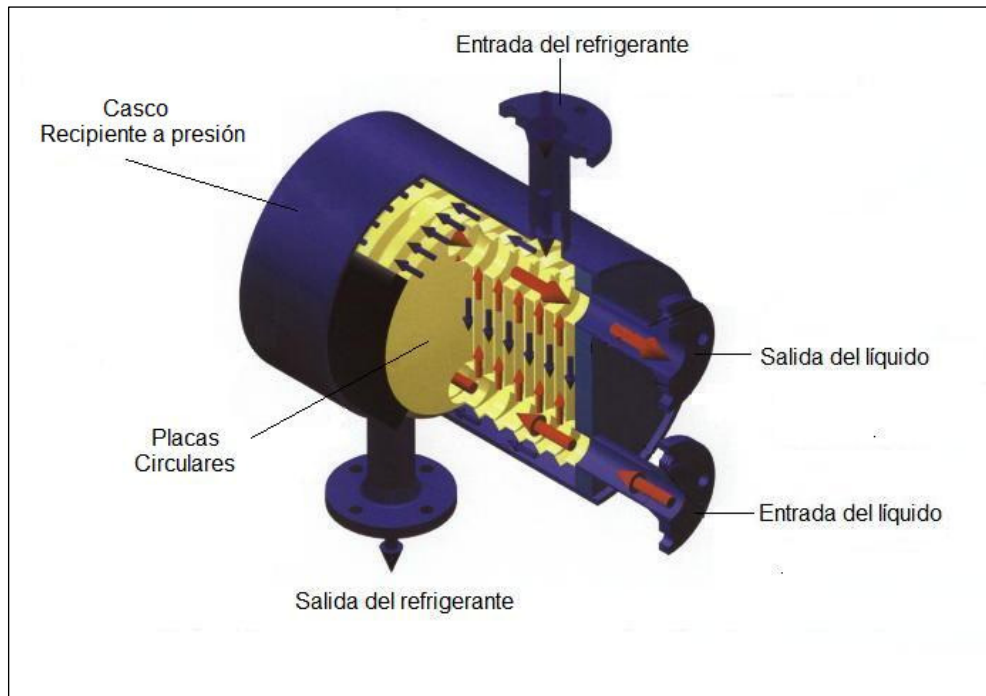


Figura 18. Enfriador de casco y placas (*VAHTERUS Plate & shell, 2004*).

En este tipo de enfriadores el riesgo de tener contaminación cruzada es nulo, ya que las placas circulares (figura 19) están totalmente soldadas formando los casetes y no cuentan con ningún tipo de empaque, lo que por consiguiente conlleva a bajos costos de mantenimiento por la nula necesidad de cambio de empaques.

La operación de este equipo se basa en enfriar un fluido de proceso el cual entra a través del puerto inferior ubicado en una de las caras planas del recipiente, fluyendo verticalmente en el interior de todos los casetes soldados hasta salir por el puerto superior ubicado en la misma cara del recipiente. El enfriamiento se lleva a cabo en este momento ya que el refrigerante entra al envolvente externo o recipiente por la parte inferior del mismo y se evapora y regresa al separador de líquido a través de la tubería de succión que se encuentra ubicada en la parte superior del recipiente (*VAHTERUS Plate & Shell, 2004*).

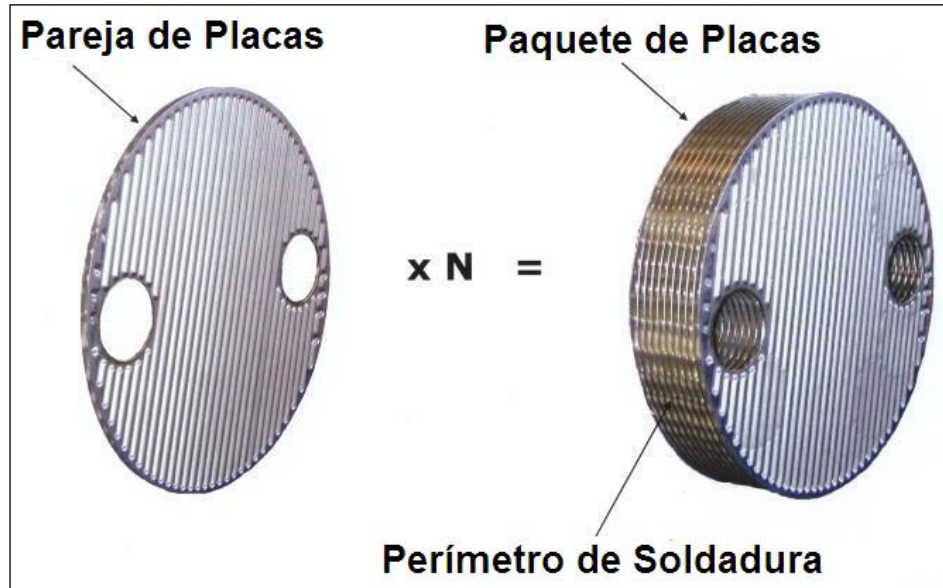


Figura 19. Placas circulares para un enfriador de casco y placas (VAHTERUS *Plate & Shell*, 2004).

3.4.1. Características de equipo y condiciones de operación.

Las especificaciones, capacidades y condiciones de operación de los enfriadores de casco y placas, es información aún escasa debido a su diseño tan reciente, sin embargo a continuación mencionaremos algunas especificaciones.

Los materiales más comunes para la fabricación de las placas de los casetes son el acero inoxidable, el titanio; el níquel y el hastelloy; y para el envolvente o casco el acero al carbón o el acero inoxidable.

Los refrigerantes más empleados comúnmente en los enfriadores de casco y placas son el amoniaco y los freones entre otros.

En comparación con otros equipos, su carga de refrigerante es considerablemente baja para las mismas capacidades y esto es debido a un menor tamaño en relación a los demás.

La temperatura mínima de salida del agua recomendada en la operación de estos equipos es de 1 °C. Este tipo de equipos permiten contar con diferenciales de temperatura muy cercanos a 1 °C.

Estos enfriadores tienen bajas caídas de presión y tienen altos coeficientes de transferencia de calor.

Su sistema de alimentación de líquido se recomienda en cocorriente para tipo inundado.

Cuando estos enfriadores trabajan en expansión directa el agua fluye por el casco y el refrigerante por las placas, y en el caso de inundado (figura 20), el agua fluye por las placas y el refrigerante ebulle en el casco (*VAHTERUS Plate & Shell, 2004*).

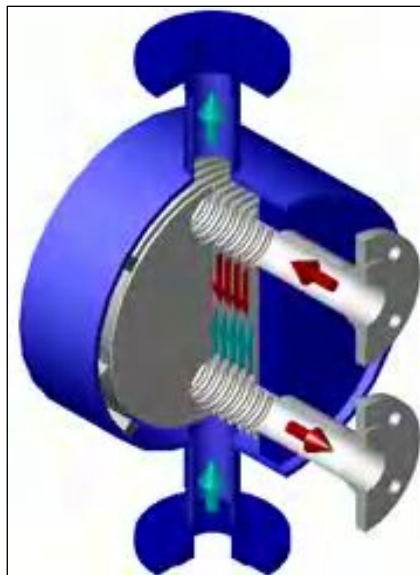


Figura 20. Corte interno de un enfriador de casco y placas (*VAHTERUS Plate & Shell, 2004*).

Debido a su sólida conformación en la estructura de estos enfriadores, se considera uno de los equipos más seguros contra fugas.

La temperatura de evaporación recomendada para optimizar el enfriamiento de agua sin riesgos de congelación para este tipo de enfriadores es de 0°C

Pueden ser suministrados en su versión desmontable para fines de inspección y limpieza

Los intercambiadores de casco y placas pueden encontrarse con áreas de superficie en el rango de 0.5 m² a 1800 m², con un capacidad de 5 kW a 20000 kW (*VAHTERUS Refrigeration Industry Applications, 2004*).

CAPÍTULO 4

SILOS DE AGUA HELADA

Un método muy extendido de producción de grandes cantidades de agua helada es el de acumulación de hielo; particularmente interesante cuando el consumo de agua helada está sujeto a fuertes variaciones en el proceso. Los picos de consumo se pueden compensar por parte del equipo frigorífico acumulando hielo en momentos de bajo consumo.

El sistema tradicionalmente utilizado y que consistía en acumular hielo durante las horas nocturnas, tiene hoy en día una aplicación limitada como consecuencia de las siguientes consideraciones:

- Sensibilidad creciente de los costos de energía.
- Tecnologías cada día más complejas en los procesos productivos.
- Tendencia al aprovechamiento más efectivo de los bienes de inversión.
- Imposición de mayores exigencias con respecto al medio ambiente y a la seguridad (*Klüe, 2005*).

Hoy en día hay varios tipos de sistemas que operan con almacenamiento térmico. Estos sistemas pueden ser tanto del tipo de almacenamiento total como parcial. En el sistema típico de almacenamiento térmico total (bancos de hielo), el sistema de refrigeración generaba hielo por la noche cuando las tarifas útiles de energía son bajas (fuera del pico). Durante el día, cuando las tarifas útiles son más altas (dentro del pico) el hielo era entonces derretido para proveer enfriamiento al agua. En el sistema de almacenamiento térmico parcial (Silos de Agua Helada), un evaporador-enfriador de mediana o baja capacidad opera en conjunción con el almacén de hielo para cubrir las cargas pico. Hay varios tipos de sistemas de almacenamiento parcial, en los cuales su aplicación depende de las cargas, de los equipos del sistema y del costo de energía. Sin embargo, muchos sistemas de almacenamiento parcial son usados para cubrir las demandas pico de energía y

reducir los costos de operación (EVAPCO, 1999)

Es extraño encontrar en la operación de una planta que la demanda diaria de refrigeración sea constante a través de todo el ciclo; en lugar de esto y como se muestra en la figura 21 hay una variación en el perfil de cargas con picos y valles. Si no se cuenta con un almacén térmico ya sea total o parcial, la planta deberá contar con la capacidad de refrigeración de enfriamiento directo para cubrir la demanda pico y así los equipos de refrigeración trabajaran a menor capacidad el resto del día. Para compensar estos picos y valles un almacenamiento térmico puede ser aplicado de tal forma que la planta de refrigeración opere a capacidad constante a través del día entero. De este modo, el exceso en la capacidad de refrigeración representado por A y C en la figura 21 es almacenado y trasladado al momento de alta demanda para ayudar a cubrir los requerimientos del pico en el periodo B (Stoecker, 1998).

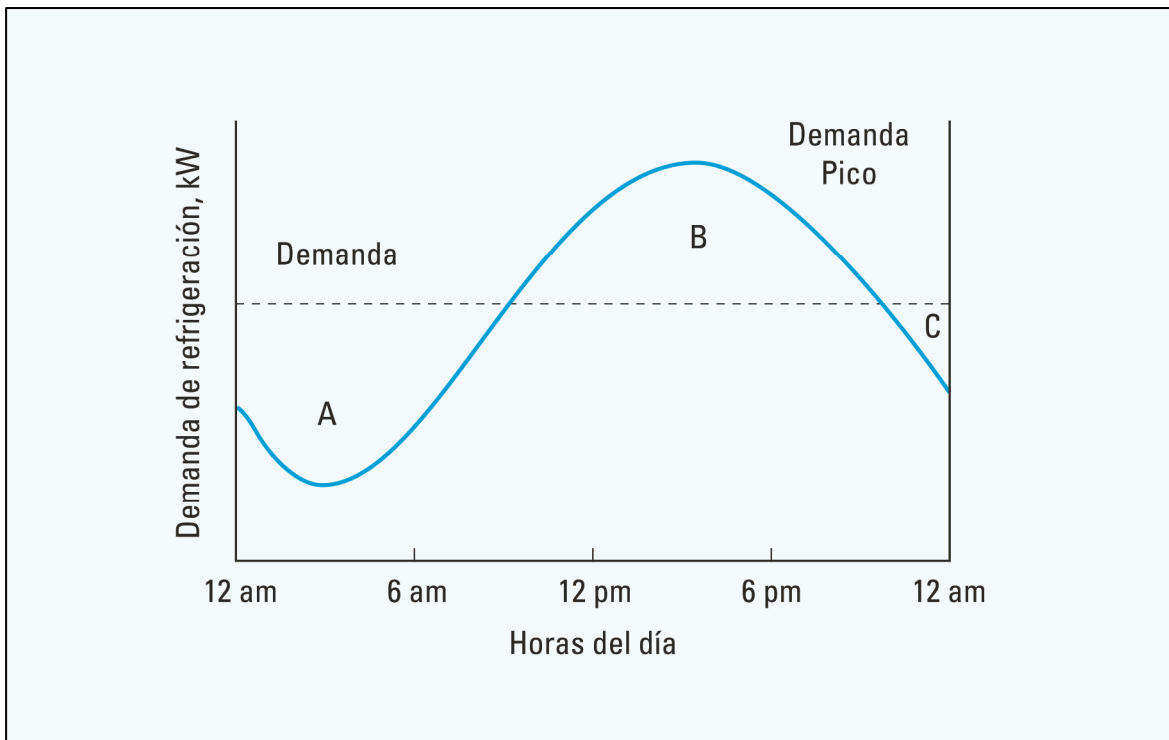


Figura 21. Variaciones típicas de cargas de refrigeración durante un día (Stoecker, 1998).

Las fábricas modernas de elaboración de productos lácteos requieren hoy en día producciones de agua helada de gran flexibilidad, temperaturas generalmente inferiores a +1°C, costos productivos bajos y contenidos de refrigerante (amoníaco) mínimos. Ya no es válida sólo la práctica de producir y acumular hielo para conseguir agua helada aprovechando la reducción de las tarifas nocturnas. Ahora es necesario adaptarse a los complicados procesos de fabricación, evitar los picos de consumo, aprovechar los momentos valle y fundamentalmente optimizar los costos de inversión y de operación.

Esto significa claramente que junto a la acumulación nocturna se deben contemplar también la acumulación diurna y el enfriamiento directo tanto de noche como durante el día: es decir, que se debe optimizar la planta buscando la solución más idónea entre producción y consumo directos y por acumulación tanto en las horas diurnas como nocturnas.

Para poder tomar la solución más ventajosa se debe analizar a detalle el consumo de agua helada en función de la hora y del día de la semana. Algunos fabricantes en base a su experiencia han manifestado las siguientes observaciones:

- Es común que existan grandes diferencias de operación entre las horas de un mismo día.
- En las plantas lácteas modernas los consumos diurnos y nocturnos han tendido a igualarse.
- El consumo de agua helada se presenta durante las 24 horas del día, no teniendo tiempos muertos.
- Pueden darse considerables diferencias en el consumo del medio de enfriamiento entre los días de la semana.

- Es recomendable diseñar y construir la producción de agua helada con bastantes reservas, pues por regla general, el consumo sube con rapidez tan pronto se ponen en servicio las instalaciones (*Klüe, 2005*).

Aunque en el capítulo anterior se mencionaron los beneficios del empleo de los enfriadores instantáneos y la obsolescencia de los bancos de hielo como sistemas de generación de agua helada y almacenamiento de hielo, en este capítulo se habla de los nuevos sistemas de generación de grandes volúmenes de agua helada, los cuales están diseñados de tal forma que combinan las cualidades de ambos sistemas, es decir que los expertos han analizado las demandas de fluido frío en algunas plantas lácteas, concluyendo que un buen sistema de generación de agua helada puede ser la combinación alternada o conjunta del enfriamiento instantáneo y del almacenamiento de hielo, aplicado en forma específica según el análisis de cargas térmicas para cada planta como se detalló anteriormente.

4.1. Principio de operación.

Los silos de agua helada son principalmente recipientes cilíndricos verticales aislados, los cuales funcionan como un almacén térmico en donde por medio de un intercambiador de calor se genera hielo el cual se mezcla con agua para disminuirle la temperatura. Estos silos pueden contener como generador de hielo un intercambiador de película descendente o un serpentín de tubos, el sistema también cuenta con dispositivos de agitación y recirculación, los cuales forzan al agua a pasar a través de los inter-espacios entre las partículas de hielo, el cual puede estar estático o suspendido dependiendo del tipo de silo.

En el generador de hielo de serpentines el hielo se forma alrededor de ellos debido a la absorción de calor por medio de la evaporación de un fluido frigorígeno o de la ganancia de calor sensible por medio de un fluido frigorífero, los cuales fluyen en el interior de los serpentines y para el caso del generador de hielo de

paneles, el hielo se forma en ambos costados de los paneles debido a la evaporación que sufre el fluido frigorígeno (refrigerante primario) dentro de los mismos. Posteriormente a través de descarche por gas caliente el hielo es desprendido de los paneles cayendo al interior del silo y dejando nuevamente libres las superficies expuestas de los paneles del evaporador para la formación de un nuevo ciclo de generación de hielo.

La finalidad de un silo de este tipo es la de generar y almacenar la mayor cantidad posible de hielo inmerso en agua en el menor espacio posible. El hielo contenido en dicho silo servirá como una batería de frío la cual se derretirá generando grandes cantidades de agua helada, esto debido a la fusión del hielo provocada por la alta temperatura del agua de retorno de proceso y por la gran turbulencia generada por el sistema de agitación.

Debido a que la operación de los silos varía mucho de un fabricante a otro, en los siguientes temas se explicará más a detalle el funcionamiento de cada tipo de silo (*BUCO Ice Store Silos, 2006; FRIGOTERM, 2000; TANKKI, 1998*).

4.2. Silos de agua helada de serpentines.

En estos silos se produce agua helada debido a la fusión del hielo por la absorción de calor procedente de un flujo perpendicular a los serpentines concéntricos plásticos o de acero inoxidable donde se formó el hielo, los cuales están ubicados al interior del silo (Figura 22).

La generación de hielo en estos silos de serpentines dependerá del fluido refrigerante a emplear dentro de los tubos. Cabe aclarar que algunos fabricantes de estos sistemas emplean la evaporación de fluidos frigorígenos dentro de tubos de acero en los serpentines para la formación del hielo y en otros casos se prefiere el empleo de absorción de calor sensible a través de un fluido frigorífero dentro de tubos plásticos en los mismos serpentines. Este es un concepto

netamente de diseño de cada fabricante, ya que la cantidad de tubería dentro de los silos para ambos casos fluctúa entre los 6 y 8 mil metros, por lo que el tema de economía y seguridad se vuelve discutible para los casos cuando el amoníaco es el fluido frigorígeno a emplear.

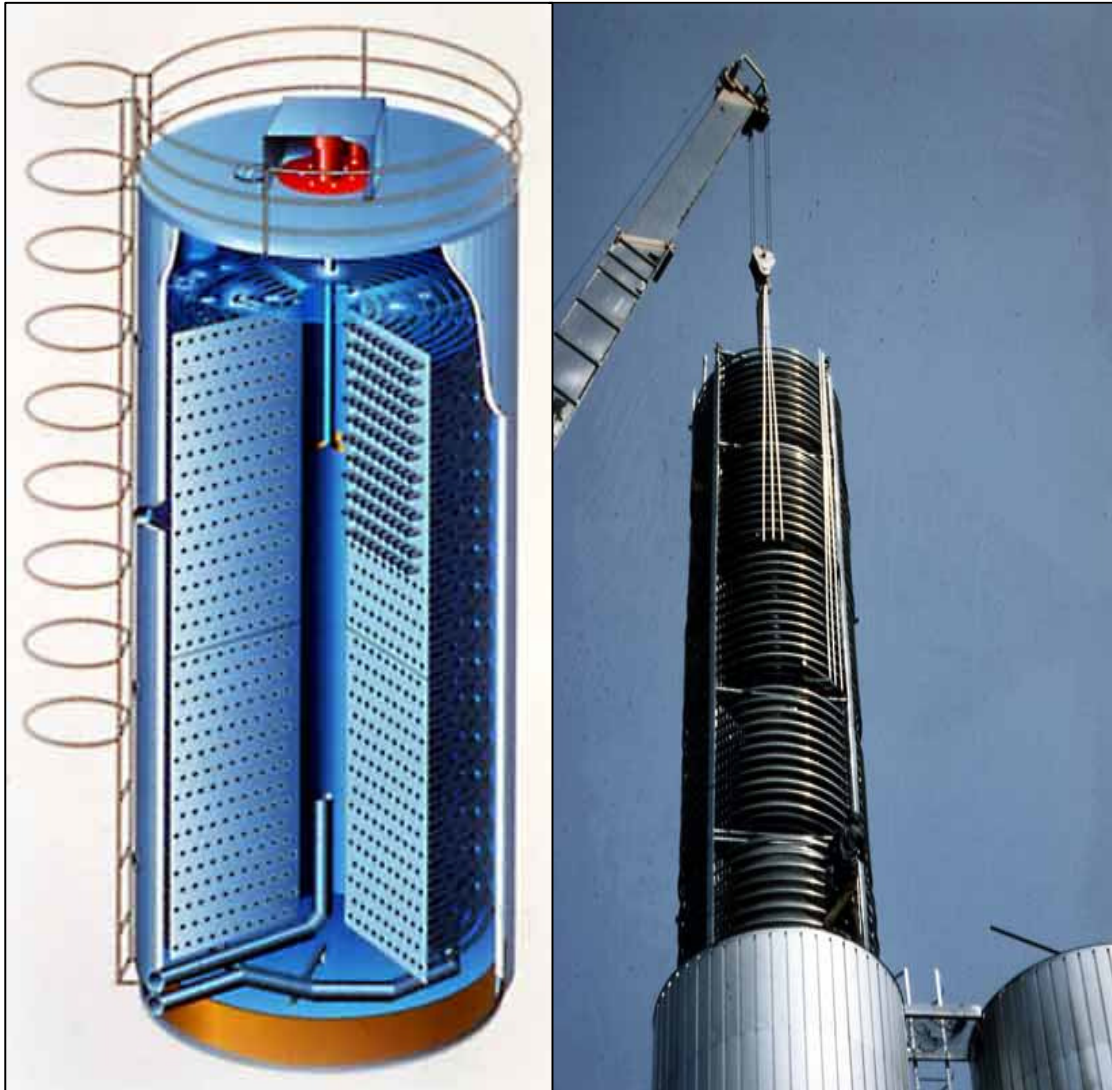


Figura 22. Silos de agua helada de serpentines (*TANKKI, 1998*).

Prosiguiendo con la explicación, independientemente del refrigerante empleado, la generación del hielo alrededor de los serpentines se realiza por la continua absorción de calor contenida en el agua líquida por medio del refrigerante. El agua es recirculada verticalmente en el interior del silo por medio

de un sistema mecánico de propelas, las cuales se ubican en el eje central del silo y forzan al líquido a fluir perpendicularmente a través de la gran ramificación de tuberías con hielo, ubicadas a lo largo del silo. (Figura 23) La constante recirculación dentro del silo de agua cada vez más fría logra que el agua llegue hasta su temperatura de solidificación y se formen capas de hielo alrededor de todos los serpentines. El sistema de refrigeración está diseñado para detenerse parcial o totalmente una vez que los diferentes módulos del silo han llegado al espesor de hielo deseado. Este es el momento en el que el silo estaría entonces lleno y listo para comenzar el proceso de fusión del hielo para la producción de agua helada.

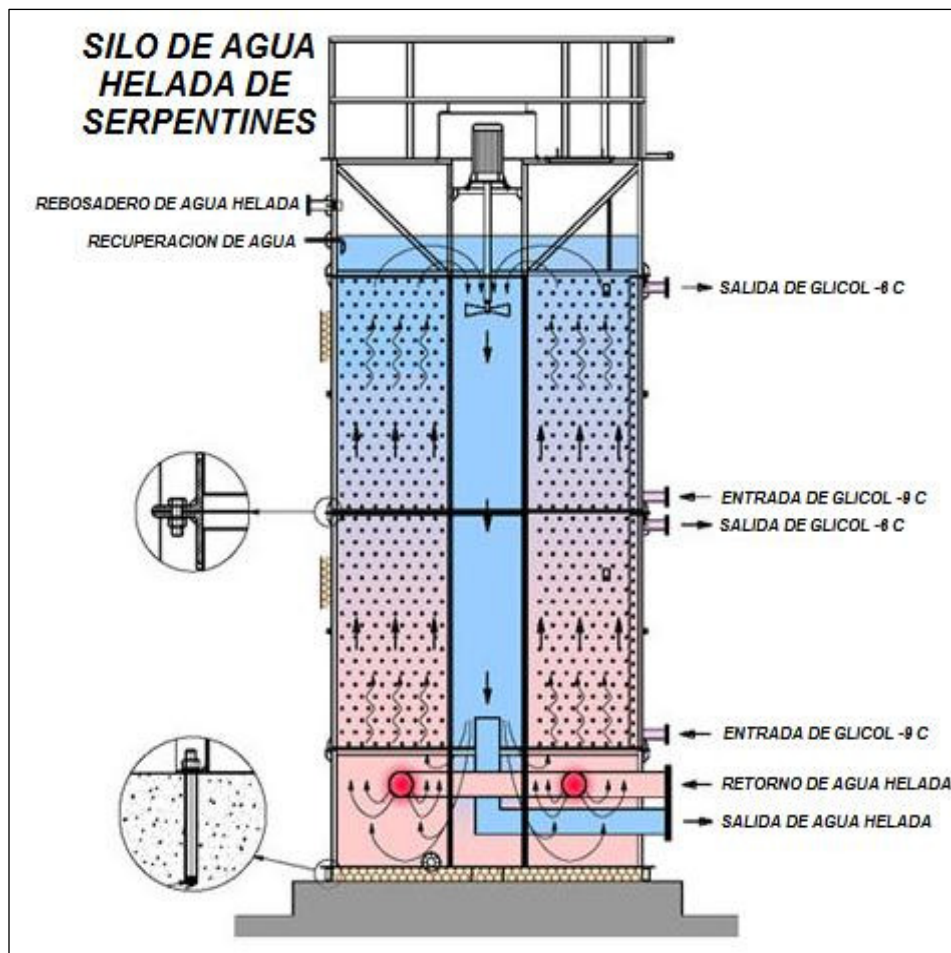


Figura 23. Esquema del funcionamiento del silo de agua helada de serpentines (FRIGOTERM, 2000).

Durante el período de fusión el silo se conecta al proceso de fabricación de la industria. La toma hacia consumo se hace en la parte inferior del eje central del silo, mientras que el retorno se lleva más al fondo del silo conectándolo a un distribuidor circular para homogeneizar la temperatura. De esta manera se consigue una circulación forzada desde abajo hacia arriba atravesando toda la zona de serpentines con hielo estático. El agua de retorno se enfría al contacto con el hielo hasta 1 °C aproximadamente. Para una mejor distribución del agua de retorno dentro del silo, el sistema de agitación se lleva a cabo por medio de un agitador mecánico tipo propela (*FRIGOTERM, 2000*).

Este hielo estático ofrece una gran flexibilidad del sistema para absorber oscilaciones en la temperatura de retorno de proceso.

4.2.1. Características de equipo y condiciones de operación.

Las características, capacidades y condiciones de operación de los silos de agua helada de serpentines se mencionan a continuación.

El diseño mecánico de los silos se compone de tres elementos físicos los cuales son: el recipiente o silo como tal; el serpentín y el sistema de distribución de agua y de agitación.

El material utilizado para la fabricación de estos sistemas es principalmente el acero inoxidable. Cabe aclarar que debido a su aplicación en bajas temperaturas es necesario considerar un aislamiento térmico, de 50 a 100 mm de espesor.

En el caso de los serpentines, los materiales más comunes para su fabricación son: el acero inoxidable tipo 304, cuando se evapora un fluido frigorígeno en el interior de los tubos y de polietileno de alta densidad cuando se absorbe calor sensible por medio de un fluido frigorífero.

Para el sistema de agitación tipo propelas el material más común para su fabricación es el acero inoxidable.

Debido a que en el espacio interior del silo existe una gran cantidad de tubos que forman los serpentines el acceso a este tipo de silos para fines de limpieza es algo complicado.

El sistema de alimentación en estos equipos, es básicamente recirculación por bombas independientemente del tipo de refrigerante.

En términos de cantidad de refrigerante primario a emplear, el sistema de serpentines con amoniaco emplea una cantidad mucho muy alta de este refrigerante con respecto al mismo silo, pero trabajando alternativamente con glicol el cual es enfriado remotamente.

La temperatura máxima garantizada de salida del agua en la operación de estos silos es de 1,0°C.

Las temperaturas de evaporación en este tipo de silos, en su fase de generación de hielo, son de -15,0°C a -17,0°C independientemente del tipo de refrigerante a emplear.

Los espesores del hielo alrededor de los tubos de los serpentines al interior de los silos varían entre 35 y 50 mm.

Estos silos pueden estar preparados para futuros crecimientos de capacidad, con el incremento de módulos completos de serpentines a lo alto del silo.

Comercialmente estos equipos se diseñan para capacidades desde 300 kWh hasta 9,400 kWh de almacenamiento de hielo en 24 horas.

La aplicación en tanques silo permite generar grandes cantidades de almacenamiento de hielo en espacios muy pequeños de alrededor de 12,0 a 25,0 m² (*FRIGOTERM, 2000; TANKKI, 1998*).

4.3. Silos de agua helada de paneles.

En estos silos se puede producir agua helada o generar hielo en fichas alternativamente. Para la generación de hielo se bombea agua desde el fondo del silo hasta el distribuidor del agua encima del evaporador; el agua desciende en película por el exterior de los paneles verticales del evaporador y se va formando hielo. Una vez alcanzado el espesor predeterminado (6-8mm) se pone en marcha el sistema de descarche por gas caliente (el circuito frigorífico está dividido en tres zonas para este fin). El hielo se desprende y cae a la parte inferior del silo quedando flotando en el agua. Este proceso se mantiene hasta conseguir la mezcla agua-hielo y la altura del nivel programadas. El silo de hielo estaría entonces lleno y listo para comenzar el proceso de fusión del hielo para la producción de agua helada (Figura 24).

Durante el período de fusión el silo se conecta al proceso de fabricación de la industria. La toma hacia consumo se hace por encima del nivel de hielo, mientras que el retorno se lleva al fondo del silo conectándolo a un distribuidor. De esta manera se consigue una circulación forzada desde abajo hacia arriba atravesando toda la zona de hielo en suspensión. El agua de retorno se enfría al contacto con los trozos de hielo hasta los 0°C aproximadamente. Para una mejor distribución del agua de retorno dentro del silo, el sistema de agitación se lleva a cabo por medio de inyección de aire a presión por medio de jets o de boquillas ubicadas en el fondo del silo.

BUCO delot Silo Contenedor de Hielo

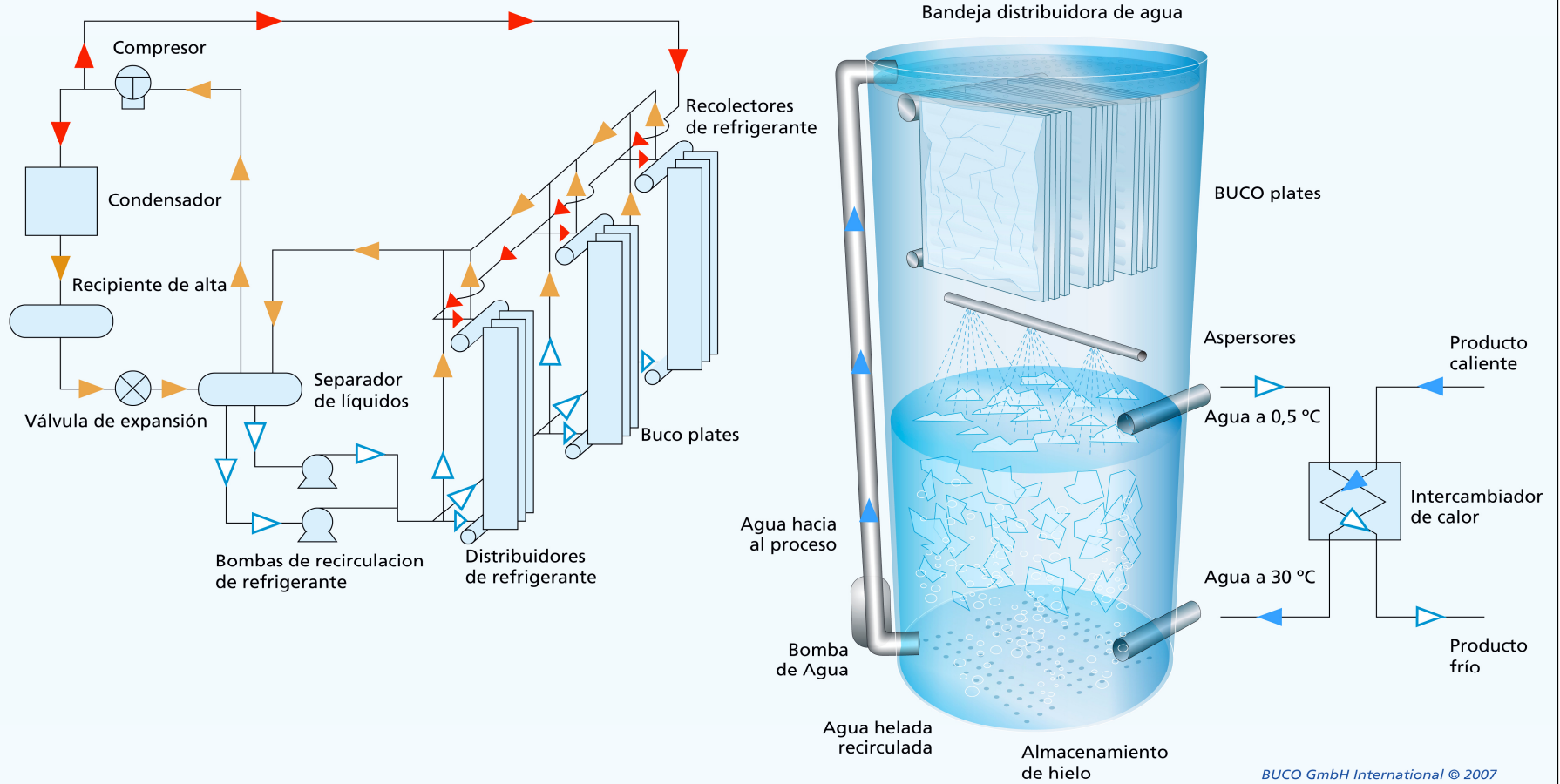


Figura 24: Silo de agua helada de paneles (*BUCO Presentación de Productos, 2009*).

Este hielo en suspensión ofrece una superficie de fusión muy superior a la de silos con serpentines, por lo que la potencia máxima de fusión, o lo que es lo mismo, la capacidad instantánea de generación de agua helada es muy elevada. Esta circunstancia es de gran importancia, pues tiene como resultado una gran flexibilidad del sistema para absorber bruscas oscilaciones en la temperatura de retorno del proceso.

Además de las funciones de formación de hielo y su fusión para producir agua helada, estos silos pueden cumplir otro significativo objetivo: el de la generación de agua helada por enfriamiento directo. En este caso el agua de retorno se recoge en el fondo del silo en un colector específicamente diseñado a tal fin y se lleva al distribuidor del enfriador de paneles en donde se enfría trabajando con temperatura de evaporación más alta. La selección del enfriamiento directo se realiza de manera que se consigue agua helada a 0,5. La construcción de estos silos permite por las razones expuestas la generación y acumulación de hielo así como el enfriamiento directo. Esto significa que cumplen con los requerimientos puestos a este proceso por las modernas fábricas de productos lácteos.

Las principales ventajas de estos silos se pueden resumir como sigue: (*Klüe, 1999, BUCO Ice Store Silos, 2006*).

- Se consigue una gran flexibilidad de funcionamiento gracias a la enorme superficie del hielo en el período de fusión.

- El contenido necesario de amoníaco es muy pequeño, siendo menos de una octava parte del requerido en un sistema convencional de banco de hielo con serpentines.

- La posibilidad que ofrecen estos silos de generar y almacenar hielo, descongelar a gran velocidad y enfriar directamente, supone que se puede

programar un sistema de regulación que garantiza el suministro a las líneas de proceso exactamente en la medida que estas lo pidan.

- Aprovechando el enfriamiento directo se puede ampliar la capacidad de la planta con poca inversión.

- La temperatura de evaporación en el período de formación de hielo es prácticamente constante (-6°C y -10°C) en estos equipos, mientras que en los tipos de serpentín sumergido las temperaturas tienen que bajar al aumentar el espesor (-15 a -17°C con espesores de hielo entre 35 y 50 mm). Las consecuencias son una unidad frigorífica más pequeña y un menor consumo cuando se emplean los silos descritos.

- La limpieza y el acceso a estos silos es muy fácil. Debido a que no contienen grandes tramos de tubería en su interior.

- Estos silos se distinguen por una facilidad de montaje y desmontaje, por lo tanto pueden trasladarse sin grandes costo.

El silo de agua helada de paneles es uno de los sistemas más recomendables a emplear en grandes plantas lácteas, ya que su dualidad como generador de hielo y enfriador instantáneo le permite la mayor flexibilidad deseada en una planta láctea para la producción de su agua helada.

4.3.1. Características de equipo y condiciones de operación.

Las características, capacidades y condiciones de operación de los silos de agua helada de paneles se mencionan a continuación.

El diseño mecánico de los silos se compone de tres elementos físicos los cuales son: el recipiente o silo como tal; el equipo generador de hielo y agua

helada, y el sistema de distribución de agua y de agitación.

La diversificación del sistema silo nos permite que este pueda ser fabricado de diferentes tipos de materiales entre los cuales podemos mencionar el acero inoxidable o de concreto. En algunos casos y por cuestiones económicas el uso de tanques pre-existentes con ayuda de la re-ingeniería nos permite que estos sistemas puedan ser de costos moderados. Cabe aclarar que debido a su aplicación en bajas temperaturas es necesario considerar un aislamiento térmico, de 50 a 100 mm de espesor, alrededor del recipiente sin importar de qué material fue fabricado.

En el caso del generador de hielo y agua helada (evaporador general) los materiales más comunes para su fabricación son el acero inoxidable tipo 304 y el tipo 316Ti.

Para el sistema de distribución y de agitación los materiales más comunes para su fabricación son: el acero inoxidable y el PVC hidráulico entre otros.

Debido a su diseño abierto y a que en el espacio interior del silo no existe ninguna cantidad de tubos que obstruyan el acceso al mismo, este sistema de generación de agua helada en su rango es el de mínimo costo de limpieza.

Estos sistemas son diseñados para grandes capacidades por lo que el único refrigerante empleado para esta aplicación ha sido amoníaco, con sistema de alimentación recirculado por bombas o expansión seca.

En comparación con otros silos, su carga de refrigerante es considerablemente baja para las mismas capacidades y esto es debido a un menor tamaño del evaporador en relación a los otros.

El rango de temperaturas garantizadas de salida del agua en la operación

de estos silos es de 0,0°C a 0,5°C debido a su gran capacidad de fusión por medio de la exposición del agua a grandes superficies de hielo en suspensión y a los altos coeficientes convectivos debidos a la agitación por aire.

La temperatura de evaporación recomendada de los silos, en su fase de generación de hielo, es de -6,0 a -10,0°C y en la fase de enfriamiento directo puede ser de -1,0 a -3,0°C.

Los espesores del hielo dentro del silo varían entre 6 y 8 mm.

Estos silos pueden estar preparados para futuros crecimientos de capacidad, tanto para el almacenamiento de hielo como en la generación del mismo.

Comercialmente estos equipos se diseñan para capacidades desde 2000 kWh hasta 7000 kWh de almacenamiento de hielo en 24 horas.

La aplicación en tanque silo permite generar grandes cantidades de almacenamiento de hielo en espacios muy pequeños de alrededor de 12,0 a 25,0 m² (*BUCO Ice Store Silos, 2006; FRIGOTERM, 2000; TANKKI, 1998*).

CAPÍTULO 5.

RECOMENDACIONES PARA LA PRE-SELECCION DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE AGUA HELADA.

5.1. Factores que influyen en la pre-selección

Una de las partes fundamentales en el presente trabajo es la de analizar qué factores influyen en la pre-selección del sistema más adecuado de generación de agua helada, sin dejar de considerar que existen más factores adicionales de los que se mencionan y que se deben de tomar en cuenta en el momento de la selección definitiva del sistema. Como referencia, estos factores adicionales se citan de forma breve al final de este capítulo.

Los factores de importancia primaria para los usuarios y los diseñadores de instalaciones frigoríficas son:

- Temperatura de aplicación
- Riesgo de daño por congelación
- Volumen interno de fluido frigorígeno
- Tamaño del equipo
- Requerimiento de cambio de empaques
- Temperatura de evaporación de diseño
- Material de construcción
- Fabricante de los equipos
- Atención a clientes del fabricante

Los puntos enlistados se describen en las siguientes tablas.

En la tabla 4 se muestran una relación de equipos que generan agua fría a diferente temperatura.

Tabla 4. Clasificación de los equipos en función a su temperatura de aplicación más común.

$T \leq 1^{\circ}\text{C}$	$T > 1^{\circ}\text{C}$
<ul style="list-style-type: none"> • Banco de hielo de serpentines c/glicol • Banco de hielo de serpentines c/NH3 • Banco de Hielo de paneles • Enfriadores de película descendente • Silos de agua helada de serpentines c/glicol • Silos de agua helada de serpentines c/NH3 • Silos de agua helada de paneles 	<ul style="list-style-type: none"> • Enfriadores de placas semisoldadas • Enfriadores de casco y placas

Cabe mencionar que los dos equipos recomendados para aplicaciones con temperatura de agua de $T > 1^{\circ}\text{C}$, sí pueden alcanzar menores temperaturas; sin embargo, para lograrlo se requieren sistemas de control sofisticados y muy precisos. Para la operación normal de los otros equipos no se requieren sistemas de controles complejos.

No todos los equipos de generación de agua helada están diseñados para alcanzar los límites del enfriamiento de la misma, por lo que en la Tabla 5 se mencionan cuales son los equipos en los que su diseño mecánico les permite alcanzar el límite cercano a los 0°C . (temperatura de solidificación del agua), sin sufrir daños en su estructura.

En la siguiente tabla, dos equipos son los que presentan un riesgo de daño por congelación del agua durante su operación.

Tabla 5. Riesgo de daño al equipo por congelación del agua durante su operación.

EQUIPO	RIESGO DE DAÑO
• Banco de hielo de serpentines c/glicol	NO
• Banco de hielo de serpentines c/NH3	NO
• Banco de hielo de paneles	NO
• Enfriadores de placas semi soldadas	SI
• Enfriadores de película descendente	NO
• Enfriadores de casco y placas	SI
• Silos de agua helada de serpentines c/glicol	NO
• Silos de agua helada de serpentines c/NH3	NO
• Silos de agua helada de paneles	NO

Los daños mecánicos a los que se hace referencia son los relacionados a la estructura física de los equipos, para el caso de los equipos susceptibles a daño, este se da debido a que son diseños compactos, con una separación mínima entre sus paredes de intercambio de calor y por su configuración de sistema cerrado. El daño ocurre cuando el agua incrementa su volumen al congelarse provocando la rotura de las juntas, de las soldaduras o de los empaques según sea el caso.

Si en los sistemas que no corren riesgo se presentara la congelación del agua, esta no provocaría daños debido a que para todos estos equipos el volumen del espacio requerido por la congelación del agua no está confinado a ningún espacio cerrado y al ser equipos abiertos el agua podría incrementar su volumen libremente sin dañar la estructura del equipo.

Tabla 6. Cantidad interna de fluido frigorígeno (Amoniac)

V ≤ 150 kg.	150 kg < V ≤ 350 kg	V > 350 kg
<ul style="list-style-type: none"> • Banco de hielo de serpentines c/glicol • Enfriadores de película descendente • Enfriadores de placas semisoldadas • Enfriadores de casco y placas • Silos de agua helada de serpentines c/glicol 	<ul style="list-style-type: none"> • Banco de Hielo de paneles • Silos de agua helada de paneles 	<ul style="list-style-type: none"> • Banco de hielo de serpentines c/NH3 (850kg) • Silos de agua helada de serpentines c/NH3

Las cantidades de amoniaco que aparecen en la Tabla 6, se calcularon en base a una capacidad de enfriamiento directo de 900 kW por equipo (aproximadamente 250 TR)

La importancia de conocer la cantidad de refrigerante dentro del equipo radica en que para ciertos fluidos frigorígenos, como el amoniaco, los gobiernos han implementado regulaciones de la cantidad máxima que debe emplear una industria por cuestiones de seguridad; por lo tanto el usuario del sistema deberá contar con la información vigente sobre las regulaciones locales.

El espacio y superficie totales a ocupar son de gran importancia debido a que ocasionalmente pueden existir problemas de espacio en los cuartos de máquinas de las plantas por lo que en la Tabla 7 se mencionan las dimensiones de un sistema básico que genera 900 kW de capacidad por equipo (aproximadamente 250TR)

Cabe mencionar que los equipos que ocupan mucho volumen son debido a que trabajan con almacenamiento de agua-hielo, por lo que también se tendría que considerar que para estos equipos, es necesario reforzar el lugar o basamento donde serán colocados. Para el caso de silos y bancos de hielo es

recomendable realizar cálculos estructurales, debido a su conformación vertical.

Tabla 7. Tamaño del equipo (espacio y superficie total requerido)

EQUIPO	L x W x H (mm)	V _r (m ³)	A _r (m ²)
• Banco de hielo de serpentines c/glicol	6051 x 2396 x 2438	34	14
• Banco de hielo de serpentines c/NH ₃	6000 x 2400 x 2400	34	14
• Banco de hielo de paneles	8300 x 2300 x 2200	42	19
• Enfriadores de placas semi soldadas	1000 x 730 x 1750	1.2	1
• Enfriadores de película descendente	2100 x 1860 x 2420	6.4	4
• Enfriadores de casco y placas	1600 x 840 x 1480	2	1.5
• Silos de agua helada de serpentines c/glicol	3500 x 3500 x 10470	100	10
• Silos de agua helada de serpentines c/NH ₃	3500 x 3500 x 10470	100	10
• Silos de agua helada de paneles	4400 x 4400 x 9000	136	15

Debido al diseño mecánico que presentan algunos de los equipos generadores de agua helada es necesario considerar si estos ocupan empaques para su correcto sellado, los cuales se menciona en la Tabla 8.

Aunque en este trabajo no se analizan factores económicos, el tema de requerir empaques para la operación de algunos equipos, permite determinar que a corto plazo se cuenta con un costo fijo que se tiene que considerar al momento de la preselección.

Tabla 8. Indicación del requerimiento del cambio de empaques.

EQUIPO	CAMBIO DE EMPAQUES
• Banco de hielo de serpentines c/glicol	SI
• Banco de hielo de serpentines c/NH3	NO
• Banco de hielo de paneles	NO
• Enfriadores de placas semi soldadas	SI
• Enfriadores de película descendente	NO
• Enfriadores de casco y placas	NO
• Silos de agua helada de serpentines c/glicol	SI
• Silos de agua helada de serpentines c/NH3	NO
• Silos de agua helada de paneles	NO

La Tabla 9 permite conocer el rango de temperaturas de evaporación de los diferentes equipos generadores de agua helada, ya que puede ayudar a la inserción de éstos a un sistema centralizado o al diseño correcto de un nuevo sistema frigorífico.

Este dato también es muy importante ya que para seleccionar el compresor adecuado, debemos considerar estos rangos de temperatura evaporación y así poder comparar los consumos de energía generados por los motores calculados en la selección del compresor.

Tabla 9. Temperatura de evaporación de diseño para generar agua helada.

EQUIPO	RANGO DE TEMPERATURAS DE EVAPORACIÓN (°C)
• Banco de hielo de serpentines c/glicol	-11 A -7
• Banco de hielo de serpentines c/NH3	-10 A -3
• Banco de hielo de paneles	-10 A -6
• Enfriadores de placas semi soldadas	-1 A 0
• Enfriadores de película descendente	-3 A -1
• Enfriadores de casco y placas	-1 A 0
• Silos de agua helada de serpentines c/glicol	-11 A -7
• Silos de agua helada de serpentines c/NH3	-10 A -3
• Silos de agua helada de paneles	-10 A -6

Debido a las grandes cantidades de agua a emplear en las plantas lácteas, es muy complejo controlar perfectamente la calidad del agua, por lo que en la gran mayoría de los casos es muy importante el material con el que están fabricados los equipos para evitar los daños por corrosión y ensuciamiento.

En la Tabla 10 se pueden observar los materiales estándar de fabricación de los equipos de generación de agua helada.

Actualmente los fabricantes de estos equipos los producen con materiales más resistentes a la corrosión que el acero al carbón como son acero galvanizado en caliente; acero inoxidable en sus tipos 304, 316L y 316Ti; Plástico PVC; e incluso, aunque no está mencionado en la Tabla 10, en variantes con Titanio para ambientes muy severos.

Tabla 10. Material estándar de construcción de los equipos de generación de agua helada.

EQUIPO	SECCIÓN	MATERIAL
• Banco de hielo de serpentines c/glicol	Serpentines	Acero galvanizado o PVC
	Tanque	Acero galvanizado
• Banco de hielo de serpentines c/NH3	Serpentines	Acero galvanizado
	Tanque	Acero galvanizado
• Banco de hielo de paneles	Paneles	Acero inoxidable
	Tanque	Acero inoxidable
• Enfriadores de placas semi soldadas	Placas	Acero inoxidable
	Marco	Acero al carbón pintado
• Enfriadores de película descendente	Paneles	Acero inoxidable
	Marco	Acero inoxidable
• Enfriadores de casco y placas	Placas	Acero inoxidable
	Casco	Acero al carbón pintado
• Silos de agua helada de serpentines c/glicol	Serpentines	PVC
	Silo	Acero inoxidable
• Silos de agua helada de serpentines c/NH3	Intercambiador de calor	Acero inoxidable
	Silo	Acero inoxidable
• Silos de agua helada de paneles	Paneles	Acero inoxidable
	Silo	Acero inoxidable

La Tabla 11 permite conocer algunos de los fabricantes más reconocidos de los equipos mencionados en el presente trabajo.

Tabla 11. Fabricantes de equipos de generación de agua helada.

EQUIPO	MARCA
• Banco de hielo de serpentines c/glicol	Baltimore Aircoil Co. – E.U. Evapco Inc. – E.U.
• Banco de hielo de serpentines c/NH3	Baltimore Aircoil Co. – E.U. Chester Jensen Co. – E.U.
• Banco de hielo de paneles	BUCO Wärmeaustauscher – Alemania
• Enfriadores de placas semi soldadas	Alfa Laval Group – Suecia Invensys APV – Dinamarca SONDEX A/S – Dinamarca Thermowave Gesellschaft – Alemania
• Enfriadores de película descendente	BUCO Wärmeaustauscher – Alemania Chester Jensen Co. – E.U. Paul Mueller Co. – E.U.
• Enfriadores de casco y placas	Vahterus Oy – Finlandia
• Silos de agua helada de serpentines c/glicol	Frigoterm – Croasia
• Silos de agua helada de serpentines c/NH3	Tankki Oy – Finlandia
• Silos de agua helada de paneles	BUCO Wärmeaustauscher – Alemania

El profesional de frío industrial debe tomar en cuenta que prácticamente todos estos equipos provienen del extranjero, por lo que se recomienda en la preselección contactar directamente al fabricante, al representante o algún distribuidor del mismo con el fin de obtener el soporte técnico y la mejor recomendación para la aplicación específica.

En la tabla 12 se observa la disponibilidad de los equipos en el mercado mexicano así como si alguno de los fabricantes mencionados anteriormente cuenta con atención técnica al usuario de sus equipos localmente.

Tabla 12. Disponibilidad y atención local del fabricante al usuario.

EQUIPO	DISPONIBILIDAD LOCAL
• Banco de hielo de serpentines c/glicol	SI
• Banco de hielo de serpentines c/NH3	SI
• Banco de hielo de paneles	SI
• Enfriadores de placas semi soldadas	SI
• Enfriadores de película descendente	SI
• Enfriadores de casco y placas	NO
• Silos de agua helada de serpentines c/glicol	NO
• Silos de agua helada de serpentines c/NH3	NO
• Silos de agua helada de paneles	SI

Esta tabla 12 complementa la tabla 11 para que el profesional del frío pueda determinar si es vital para su empresa contar con servicio local y apoyo en su idioma respecto del equipo a elegir.

5.2 Metodología de preselección.

En base a la información proporcionada en las tablas anteriores se recomienda preseleccionar los equipos de generación de agua helada considerando la siguiente metodología:

1. Definir la temperatura de agua requerida en su proceso de enfriamiento. (Tabla 4 y Tabla 5)
2. Cuantificar la cantidad máxima deseada de fluido frigorígeno (amoníaco) en el equipo y en el sistema. (Tabla 6)

3. Cuantificar la superficie y volumen disponibles para la instalación del equipo generador de agua helada. (Tabla 7)
4. Considerar si el equipo generador de agua helada emplea empaques para su correcto sellado, ya que esto determina un costo adicional por el cambio de los mismos debido a mantenimientos futuros. (Tabla 8)
5. Medir la temperatura de evaporación del sistema centralizado o definir una temperatura de evaporación para un sistema o planta nuevos. (Tabla 9)
6. Determinar el material de fabricación del equipo de generación de agua helada en función a las condiciones ambientales y operativas a las que será expuesto. (Tabla 10)
7. Evaluar e investigar en el mercado sobre el prestigio de la marca del equipo de generación de agua helada requerido, así como censar las marcas existentes previamente instaladas en el proceso de enfriamiento en el caso de no ser una nueva planta. (Tabla 11)
8. Investigar si el equipo de generación de agua helada requerido cuenta con distribución, venta y soporte técnico en el mercado local.

Una vez que el diseñador del sistema haya preseleccionado en las tablas anteriores el equipo apropiado a las necesidades y requerimientos de la planta, se deberá proceder a cuantificar y considerar los factores complementarios que se mencionan a continuación, y que solo pueden ser determinados en el momento por el usuario y principalmente por el diseñador del sistema.

Estos otros factores a considerar pueden ser los siguientes:

- ❖ Ubicación de la planta
- ❖ Clima del lugar de ubicación
- ❖ Recursos de producción de frío preexistentes
- ❖ Sistema centralizado o sistema único
- ❖ Proyecto de planta nueva
- ❖ Regulaciones locales

- ❖ Refrigerante
- ❖ Presupuesto de inversión
- ❖ Consumo eléctrico
- ❖ Ahorro de energía
- ❖ Escalabilidad
- ❖ Prestigio de la marca
- ❖ Servicio post-venta
- ❖ Capacitación
- ❖ Control
- ❖ Costo de inversión inicial del equipo así como del sistema
- ❖ Costo operativo
- ❖ Costo de mantenimiento
- ❖ Costo de obra civil
- ❖ Operatividad

Para finalizar se recomienda que antes de diseñar la nueva planta láctea o una ampliación o rediseño, se realice un análisis minucioso del perfil de cargas estimado o previo, para seleccionar correctamente la mejor solución en la generación de agua helada.

CONCLUSIONES

Existe en el mercado internacional una amplia variedad de equipos de generación de agua helada aplicables a la industria láctea que permiten al usuario elegir el mejor sistema dependiendo de su diseño, materiales de fabricación del equipo y sus características de operación.

Los bancos de hielo convencionales fueron por muchos años los sistemas más prácticos de almacenamiento de frío en la industria láctea mexicana, sin embargo, los sistemas actuales como los bancos de hielo modernos, enfriadores instantáneos y los silos de agua helada actualmente tienen mejores aplicaciones en esta industria debido a que consideran en sus diseños otros beneficios que no se obtenían con la sola aplicación de los bancos de hielo convencionales, por lo que estos equipos se pueden considerar como las nuevas tendencias para la generación de agua helada.

Los criterios de selección de un sistema de generación de agua helada no dependen sólo de los factores de carga térmica y de flujo de agua requerida, sino de un análisis profundo de las cargas térmicas de la planta, la capacidad instalada, así como de los ya muy importantes análisis para el ahorro de energía y el de bajo consumo de refrigerantes como el amoníaco.

El mejor método de selección es aquel que realiza el diseñador de la planta interaccionando con el usuario y los fabricantes de los equipos, de tal forma que no sólo se suministre un equipo que genere agua helada, sino que en realidad se haga un estudio profundo de la instalación, costo de inversión inicial y a largo plazo; haciendo un análisis exhaustivo de los costos de energía así como los posibles ahorros en ésta buscando la amortización de los equipos en el menor tiempo posible.

Hoy día la industria láctea en México está en el mejor momento para contar

con las últimas tecnologías en producción de agua helada que se ofrecen a nivel global debido a la alta producción nacional en las que participan empresas de prestigio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAIS, C., "Ciencia de la leche. Principios de técnica lechera", Compañía Editorial Continental, México, 1998.

ALFA LAVAL, "Industrial Refrigeration", USA, 2003

ALFA LAVAL, "The Theory Behind Heat Transfer", USA, 2003

ÁNGELES M. R., MORA F. J, MARTINEZ D. M., ROBERTO G. M., "Efecto de las importaciones de leche en el mercado nacional del producto", Agrocienza Volumen 38, número 5, México, 2004

APV, "Manual Técnico de Intercambiadores de Calor" México, 2005.

ASHRAE, "ASHRAE Handbook Refrigeration", ASHRAE, USA, 1998
Alemania, 2003

BAC, Baltimore Aircoil, "Ice Chiller Application Guide", USA, 2001

BAC, Baltimore Aircoil, "Ice Chiller Thermal Storage Units", USA, 1997

BERMÚDEZ T. V., "Tecnología energética", Universidad Politécnica de Valencia, España, 2000.

BUCO Delot, "Manual de Operación del Enfriador de Película Descendente", 2006

BUCO Warmaustauscher GMBH, "Falling Film Chiller", Alemania, 2005

BUCO Warmaustauscher GMBH, "Ice Bank", Alemania, 2005

BUCO Warmaustauscher GMBH, "Ice-Store. Falling-Film-Ice-Maker", Alemania, 2004.

BUCO Warmaustauscher GMBH, "Ice Stored Silos", Alemania, 2006

BUCO Warmaustauscher GMBH, "Manual de Transferencia de Calor" Alemania, 2001.

BUCO Warmaustauscher GMBH, "Presentación de Productos BUCO 2007", Alemania, 2007

- CHESTER JENSEN COMPANY, INC., "Instant Chiller Water Units", USA, 1997
- CODEX, "Código de Prácticas de Higiene para la Leche y los Productos Lácteos, CAC/RCP 57-2004" Codex Alimentarius, 2004.
- DOSSAT R., "Principios de Refrigeración", Compañía Editorial Continental S. A., México, 1998.
- EARLY, R., "Tecnología de los productos lácteos", Acribia, España, 2000
- EVAPCO "Quality Coils Designed for Large Thermal Storage Systems", USA, 1999
- FRICK, "Ice Reserve Units", USA, 1997.
- GALLARDO, J. L., "Situación actual y Perspectivas de la Producción de Leche de Ganado Bovino", SAGARPA, México, 2004
- GARLAND, M., "Maintaining Balance. Technical Papers 23rd Annual Meeting", International Institute of Ammonia Refrigeration, Long Beach C. A., 2001.
- GEANKOPLIS, C, "Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias", 3a. Edición, Compañía Editorial Continental S.A. de C.V., México, 1998.
- HIDALGO, T. J., "Tratado de enología, Vol. 1", Grupo Mundi-Prensa, España, 2003.
- HUI, Y., "Dairy Science and Technology. Handbook", VCH Publishers, U.S.A., Vol. 3, 1993.
- KEATING, P., "Introducción a la lactología" Limusa, México 1999.
- KLÜE U., "Producción de agua helada", BUCO Warmeaustauscher GMBH, Alemania, 1999.
- KLÜE U., "Ice-Water for the Dairy Industry", European Dairy Magazine, Geesthacht, Germany, 2005.
- KOELET, P. "Frío Industrial: Fundamentos, Diseño y Aplicaciones", A. Madrid Vicente Ediciones, España, 1997.
- LAGE, J. C. "Panorama Sistemático de las aplicaciones de la Tecnología de Bajas Temperaturas a los alimentos", UNAM, México, 1989.
- MARSH, W "Principios de la Refrigeración" , 2ª Edición, Diana, México, 1992.

PLANK, R., "El empleo del frío en la Industria de la Alimentación", Reverté, S. A. España, 1984.

SÁNCHEZ, P. I. M. T., "Ingeniería de las Instalaciones Térmicas Agroindustriales", Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba, España, 1998.

SPREER, E. "Lactología industrial", 2a. Edición, Acribia, España, 1991

STOECKER, W., "Industrial Refrigeration Handbook", McGraw-Hill, USA, 1998

THERMOWAVE, "Thermo Line, Plate Heat Exchangers", Alemania, 2004.

VAHTERUS, "Plate & Shell in Refrigeration Industry", Finlandia, 2004

VARNAM, A. y SUTHERLAND, J., "Leche y productos lácteos", Acribia, España, 1995.

REFERENCIAS ELECTRONICAS

DELAVAL "DeLaval cooling tank DXCE and DXCEM", 2009, www.delaval.com.

FRIGOTERM "Ice Bank Silo Tanks", 2000, www.frigoterm.hr

SAGARPA, "Producción pecuaria anual", 2009, www.siap.sagarpa.gob.mx

SIAP, Sistema Integral de Información Agroalimentaria y Pesquera, "Boletín de Leche Octubre-Diciembre 2008" www.siap.sagarpa.gob.mx.

TANKKI, "Ice Bank Silos", 1998, www.tankki.fi

VAHTERUS, "Refrigeration Industry Applications", 2004, www.vahterus.com