

UNIVERSIDAD DE PINAR DEL RÍO

Hermanos Saís Montes de Oca.

Facultad Geología-Mecánica

Departamento de Mecánica.

Y

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI.

Carrera de Ciencias de Ingeniería y Aplicadas

TRABAJO DE DIPLOMA



Título: Propuesta de Mejoramiento de la Eficiencia Energética en el sistema de refrigeración de la línea de leche del Combinado Lácteo de Pinar del Río.

Autores: Achote Achote Edwin David.
Sigcha Cunuhay Cristian Danilo.

Tutores: MsC. Luís Manuel García Rojas.
Ing. Julio Rivero González.

Pinar del Río - Cuba

2010.

PÁGINA DE ACEPTACIÓN

Facultad de Geología-Mecánica

Departamento de Mecánica

Luego de estudiada la exposición de los postulantes Achote Achote Edwin David y de Sigcha Cunuhay Cristian Danilo, así como las opiniones del tutor y el oponente del presente trabajo de diploma, el tribunal emite la calificación de _____.

Presidente del Tribunal

Secretario

Vocal

Dado en la Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca", a los _____ días del mes de _____ de _____.

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Declaramos que somos los autores del presente Trabajo de Diploma y que autorizamos a la Universidad de Pinar del Río, a hacer uso del mismo, con la finalidad que estime conveniente.

Achote Achote Edwin David y Sigcha Cunuhay Cristian Danilo autorizamos la divulgación del presente trabajo de diploma bajo licencia Creative Commons de tipo **Reconocimiento No Comercial Sin Obra Derivada**, se permite su copia y distribución por cualquier medio siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores, no haga uso comercial de las obras y no realice ninguna modificación de ellas. La licencia completa puede consultarse en: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/ar/legalcode>

Autorizamos al Departamento de Mecánica adscrito a la Universidad de Pinar del Río a distribuir el presente trabajo de diploma en formato digital bajo la licencia Creative Commons descrita anteriormente y a conservarlo por tiempo indefinido, según los requerimientos de la institución, en el repositorio de materiales didácticos disponible en: "[Inserte URL del repositorio]"

Autorizamos al Departamento de Mecánica adscrito a la Universidad de Pinar del Río a distribuir el presente trabajo de diploma en formato digital bajo la licencia Creative Commons descrita anteriormente y a conservarlo por tiempo indefinido, según los requerimientos de la institución, en el repositorio de tesinas disponible en: <http://revistas.mes.edu.cu>

Firma: _____

AGRADECIMIENTOS

- ❖ Primero que nada un sincero agradecimiento a Dios y a mi mamá por su apoyo incondicional, por guiarme y dedicar todo su tiempo y esfuerzo durante mi vida estudiantil y personal.
- ❖ Igualmente a mi familia que me dio ese apoyo moral y por sus palabras de aliento.
- ❖ A todos mis profesores, amigos y demás conocidos que siempre me han apoyado con sus consejos y sabiduría a lo largo de mi vida estudiantil.

Cristian Sigcha

Mi profundo agradecimiento

- ❖ A Dios quien ha estado a mi lado en todo momento dándome las fuerzas necesarias durante el transcurso de mi vida, rompiendo todas las barreras que se me presenten.
- ❖ A mis padres José e Isabel por darme la vida y haber confiado en mí ese apoyo incondicional ya que gracias a ellos soy quien soy hoy en día, son a ellos a quien les debo todo, de quienes me siento orgulloso.
- ❖ A mis hermanos Rebeca, Lilian y Diego quienes han estado a mi lado, que he compartido secretos, aventuras, demostrando un amor inigualable.
- ❖ A toda mi familia quienes me han brindado el apoyo moral durante el transcurso de mi vida estudiantil.
- ❖ A mis amigos que siempre me han acompañado, con quienes he compartido momentos agradables desde que los conocí.

A todos muchas gracias...

David Achote

- ❖ A la Universidad Técnica de Cotopaxi por ser fuente de conocimiento y formar una nueva era de profesionales en el área de Electromecánica, y a la Universidad Pinar del Río por abrirnos las puertas y así poder culminar nuestra carrera profesional.
- ❖ A todos los catedráticos que en el transcurso de esta vida estudiantil nos brindaron todos sus conocimientos, sabiduría y amistad para nuestra formación.
- ❖ A nuestros tutores MsC. Luís Manuel García Rojas e Ing. Julio Rivero González por sus instrucciones, consejos y sabiduría, compartidos en el desarrollo de este trabajo.

Cristian y David

DEDICATORIA

- ❖ El presente trabajo es dedicado a la persona más importante de mi vida, la que me ayuda en todo momento, a la que le debo la clase de persona que soy, sin la cual no estaría en este punto de mi vida, todo el esfuerzo y sacrificio es recompensado, esto es por ti mamá.
- ❖ Una dedicatoria para un gran amigo Patricio, que me enseñó cosas valiosas durante gran parte de mi vida, que me sirvieron para ser alguien en la vida que sin su apoyo incondicional muchas veces no hubiese salido adelante.
- ❖ A mi familia y demás amigos por alentarme a seguir adelante, y decirme que nunca me rinda sin importar lo que suceda.

Cristian Sigcha

- ❖ Con profundo sentimiento de gratitud dedico este trabajo a mis padres, hermanos por haberme orientado hacia el éxito y a todos que de una u otra manera me brindaron su apoyo.

David Achote

Universidad de Pinar del Río.

Facultad de Geología – Mecánica

Departamento Mecánica

Pinar del Río 10 de Marzo del 2010

Opinión de tutores

Algunas de Las consideraciones más importantes realizadas al trabajo de diploma “Propuesta de mejoramiento de la eficiencia energética en la línea de leche del Combinado lácteo de Pinar del Río” de los autores Cristian Danilo Sigcha Cunuhay y Edwin David Achote Achote son:

- En el contexto actual de crisis energética se hace necesaria la búsqueda de alternativas que conduzcan al aumento de la eficiencia en las instalaciones consumidoras de electricidad.
- El sistema de refrigeración analizado es un alto consumidor de electricidad.
- El amoníaco como sustancia refrigerante tiene magníficas propiedades termodinámica, pero también posee aspectos negativos que demuestra que no existe sustancia refrigerantes ideales.
- El empleo de agua como una sustancia refrigerante secundaria ha tomado un gran auge.

El Trabajo realizado permitirá mejorar la eficiencia energética del establecimiento, a partir del empleo del agua fría como agente refrigerante, en sustitución del amoníaco empleado en las cámaras de leche y queso. Sobre la ejecución del mismo podemos decir:

- Se desarrollo con la metodología establecida.
- Con un aceptado rigor científico.
- Se cumplen los objetivos propuestos, empleando una bibliografía actualizada.

- Los autores del trabajo demuestran una gran independencia, seriedad y motivación por el tema en que se investiga.

De lo anteriormente expuesto consideramos que a los autores del trabajo se les debe dar la máxima calificación.

Tutores:

MsC. Luís Manuel García Rojas

Ing. Julio Rivero González.

Pensamiento

Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad. Albert Einstein (1879-1955) Científico Alemán.

Resumen

El sistema de refrigeración que acompaña la línea de leche del Combinado lácteo de Pinar del Río posee varios años de explotación, el estado técnico del mismo, la desaparición de algunos procesos que demandan de él y la deficiencia energética en el sistema de refrigeración de la línea de leche, ha provocado un deterioro en los indicadores de eficiencia del citado sistema.

Para poder establecer un criterio de eficiencia energética con que opera el sistema de refrigeración se realiza el cálculo de las cargas térmicas vinculadas a él, se determinan los caudales del refrigerante, el calor absorbido, cedido en el compresor, calor rechazado en el condensador y el COP (Coeficiente de Funcionamiento) desfavorables para el sistema de refrigeración de la línea de leche. Como aspecto novedoso de esta investigación se hace una propuesta del empleo del agua fría como refrigerante en las cámaras de conservación, para eliminar el empleo del amoníaco en las mismas y mejorar el calor absorbido, cedido en el compresor, calor rechazo en el condensador y el COP.

Summary

The refrigeration system that accompanies the milk line of “Combinado Lácteo de Pinar del Río” has several years of operation, the technical status of the same and the disappearance of some processes that demanded of it and deficiency energetic in the refrigeration system of the milk line has caused deterioration in the indicators of efficiency in the system.

In order to establish a criterion of energetic efficiency with that operates the system of refrigeration so realized the calculation of the thermal loads linked to it, they decide, the wealth of the cooling, the absorbed heat, transferred in the compressor, refused heat in the condenser and the COP (Coefficient of Performance), unfavorable for the refrigeration system in the present day. Since new aspect of this investigation makes to itself an offer of the employment of the cold as cooling water in the chambers of conservation, for with this to eliminate the employment of the ammonia in the same ones the wealth of the cooling, the absorbed heat, transferred in the compressor, refused heat in the condenser and the COP.

ÍNDICE

Contenido

Introducción.....	- 14 -
CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	- 18 -
1.1. Sistema de refrigeración.....	- 18 -
1.1.1. Principio básico de un sistema de refrigeración industrial.....	- 18 -
1.1.2. Sistema de Refrigeración por absorción	- 21 -
1.2. Refrigeración por compresión.....	- 24 -
1.2.1. Conceptos de Termodinámica.	- 26 -
1.2.2. Otros equipos y accesorios del sistema de refrigeración.	- 27 -
1.3. Proceso básico del ciclo de refrigeración.	- 28 -
1.4. Sustancias Refrigerantes.....	- 29 -
1.4.1. Aplicaciones de los refrigerantes.	- 32 -
1.4.2. Efectos del amoníaco para la salud.	- 32 -
1.4.3. Ventajas en el empleo del Amoníaco.....	- 33 -
1.5. Estimación de la Carga Térmica.....	- 34 -
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS.	- 39 -
2.1. Metodología empleada para el cálculo de la carga térmica.....	- 39 -
2.1.1. Calor absorbido por el agua helada en el Pasteurizador de Leche.	- 39 -
2.2. Determinación de la Ganancia de Calor en el Banco de Agua Helada.	- 41 -
2.3. Determinación de los Indicadores de Eficiencia del Sistema de Refrigeración.	- 48 -

CAPÍTULO III. TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS.	- 52 -
3.1 Resultados del cálculo de carga térmica	- 52 -
3.1.1. Comportamiento de los indicadores de eficiencia del sistema de refrigeración instalado en el banco de agua helada.....	- 54 -
3.2 Propuesta de enfriamiento de las cámaras de conservación de leche y queso a partir del agua helada.	- 54 -
3.2.1. Variantes modernas para el enfriamiento de aire.	- 55 -
3.2.2. Selección de los enfriadores de aire.	- 57 -
3.2.3. Cálculo de la cantidad de agua necesaria	- 59 -
3.2.4. Comportamiento de los indicadores de eficiencia del sistema de refrigeración a partir de la nueva propuesta.....	- 60 -
3.3. Impacto económico y medioambiental de los resultados del trabajo.	- 64 -
3.3.1. Impacto económico de las propuestas por el trabajo de los motores eléctricos	- 64 -
3.3.2. Impacto ambiental.....	- 65 -
Conclusiones.....	- 69 -
Recomendaciones	- 70 -
BIBLIOGRAFÍA	- 71 -
ANEXOS	- 76 -

Introducción

El procesamiento de la leche y sus derivados es un renglón importante en el desarrollo social de Cuba, pues está vinculada a la alimentación de los niños y el pueblo en general, se trata de una esfera sensible que es subsidiada por el estado, en su proceso influyen varios factores que generan consumos de recursos humanos materiales y en especial gastos de energía que contemplan desde la transportación hasta la elaboración de los productos que de ella se pueden generar, así como el tratamiento que se le da a los residuales, de este análisis se desprende la importancia que tiene el disminuir los gastos en que se incurren sobre todo tomando en cuenta las tendencias existentes en el aumento de los precios de los combustibles los que encarecen este renglón.

La industria de la refrigeración cada día se extiende más y se encuentran más aplicaciones. En otro tiempo, el uso principal de la refrigeración era la producción de hielo. Hoy la refrigeración es esencial en la producción y distribución de alimentos y para el funcionamiento eficiente de la industria.

Las aplicaciones más frecuentes de la refrigeración son: conservación de determinadas sustancias, alimentos, producción y distribución de los mismos, uso en procesos industriales e industrias químicas y aplicaciones especiales de la refrigeración.

El desarrollo de la refrigeración revolucionó el procesamiento y distribución de los alimentos modificando los hábitos de consumo de la humanidad. La implementación de la cadena de frío permite la captura, proceso, refrigeración, congelación, almacenamiento y distribución de los más variados productos alimenticios, pudiendo disponer de ellos con los más altos estándares de frescura y calidad, en cualquier lugar del mundo y en cualquier época del año.

En el Combinado de Lácteo la refrigeración es el factor principal de la preparación, almacenamiento y distribución de la leche. Dada la importancia

que esto representa, este trabajo va encaminado a la búsqueda de posibles mejoras energéticas del sistema de refrigeración en la línea de leche a partir de conocer la instalación, que emplea el amoníaco como sustancia refrigerante así como cada uno de los componentes de la misma, su clasificación y algunos datos técnicos de interés.

La necesidad de tener un sistema de banco de agua helada, en la industria láctea, ha sido de gran ayuda al momento de diseñar un circuito cerrado de agua, el cual nos permite realizar el proceso de pasteurización y aprovechar el líquido vital.

(Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos56/planta-de-leche/planta-de-leche.shtml#intro>, consultado el 09-12-2009).

Ante los retos de disminuir los gastos energéticos en el proceso de preparación y conservación de la leche se ha trazado el siguiente diseño de la investigación:

Problema

Ineficiencia en el sistema de refrigeración existente en la línea de leche del Combinado Lácteo de Pinar del Río “Raúl Fornell Delgado”

Objeto de estudio

Sistema de refrigeración de la línea de leche instalada en el Combinado Lácteo de Pinar del Río “Raúl Fornell Delgado”

Campo de Acción

Potencia del compresor, calor rechazado en el condensador, y el coeficiente de funcionamiento (COP) del sistema de refrigeración de la línea de leche, instalada en el Combinado Lácteo de Pinar del Río “Raúl Fornell Delgado”

Objetivo General

Determinar vías que propicien mejorar la eficiencia con que trabaja el sistema de Refrigeración de la línea de leche.

Objetivos Específicos

- 1- Determinar las ganancias de calor del agua helada en el sistema de pasteurización de leche así como en el resto de la instalación.
- 2- Determinar la Potencia del Compresor, Calor Rechazado en el Condensador así como el Coeficiente de Funcionamiento en las condiciones actuales.
- 3- Proponer el empleo del agua fría del banco como refrigerante secundario a utilizar en las cámaras.
- 4- Determinar la Potencia del Compresor, Calor Rechazado en el Condensador, Coeficiente de Funcionamiento, en las condiciones de las nuevas propuestas y compararlo con las condiciones actuales.

Hipótesis

Si se hace un análisis de la cantidad de calor necesario a eliminar por el sistema de refrigeración de la línea de leche, un balance del agua fría que se emplea en la instalación, Eficiencia Térmica en el Banco de Agua Helada, Potencia del Compresor de Amoníaco (NH_3), Capacidad de Refrigeración, calor rechazado en el Condensador; entonces se podrá determinar y valorar la Eficiencia energética de la Instalación.

Resultados esperados

1. Comportamiento de los índices de eficiencia y parámetros de trabajo del sistema de refrigeración instalado.
2. Balance del consumo de agua fría en la instalación.
3. Comportamiento teórico de los índices de eficiencia y parámetros de trabajo del sistema de refrigeración según la propuesta de empleo del agua fría como refrigerante en las neveras.

CAPÍTULO I.

CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Sistema de refrigeración

La refrigeración es el proceso de producir frío, en realidad extrae calor. Para producir frío lo que se hace es transportar calor de un lugar a otro, así, el lugar al que se le sustrae calor se enfría. Al igual que se puede aprovechar diferencias de temperatura para producir calor, para crear diferencias de calor, se requiere energía.

(Disponible en: <http://www.caloryfrio.com/index.php/200712282796/aire-acondicionado/bomba-de-calor-reversible/sistemas-de-refrigeracion.html> consultado el 11-12-2009).

1.1.1. Principio básico de un sistema de refrigeración industrial

Para poder comprender los principios de funcionamiento de un sistema de refrigeración vamos hacer un comparativo entre una máquina térmica y una máquina de refrigeración.

Representamos en la figura 1 la distribución de las energías y trabajo de cada una de las máquinas, en A se representa una máquina térmica y en B una máquina de refrigeración.

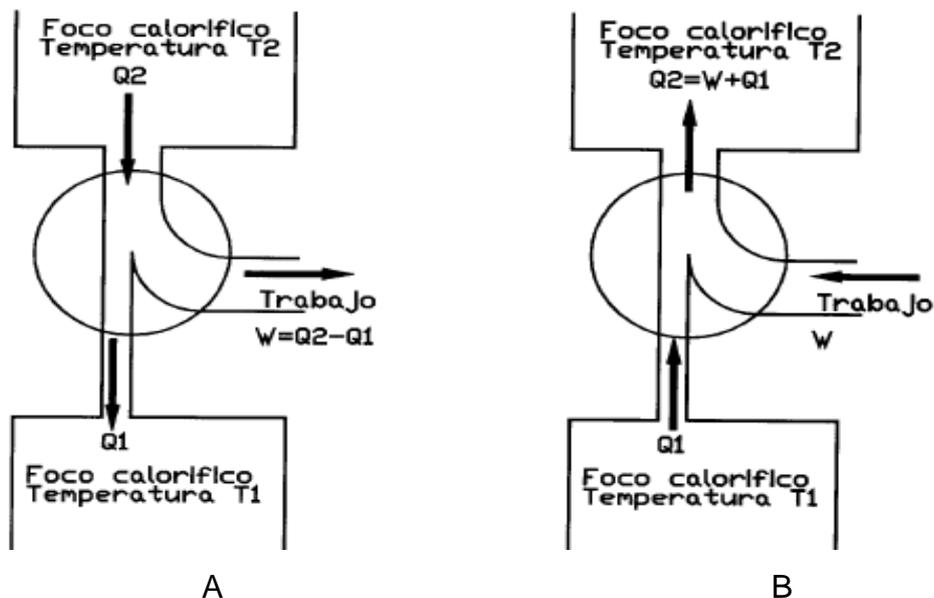


Figura 1. Diagrama esquemático. A) Máquina térmica, B) Máquina frigorífica.

Como se puede observar en la máquina térmica, el motor representado por un círculo recibe energía calorífica Q_2 de un foco externo que está a temperatura T_2 elevada, transformando parte de esta en trabajo (W), dejando escapar al agente de transmisión, al ambiente con una energía Q_1 y a una temperatura T_1 más baja. Aquí el trabajo (W) realizado por la máquina es igual a la diferencia entre el calor suministrado y el calor rechazado.

$$W=Q_2-Q_1$$

En la máquina de refrigeración o frigorífico se puede considerar que esto funciona en sentido inverso, esto es, la máquina frigorífica toma calor Q_1 a una temperatura T_1 baja y se le suministra un trabajo mecánico (W) y la suma de estos se lo expulsa en forma de calor Q_2 a una temperatura más elevada T_2 de esta manera se puede definir qué:

$$Q_2=Q_1+ W$$

Ahora explicado el funcionamiento de la máquina frigorífica más comúnmente llamado compresor, debemos pasar a analizar cómo se logra la baja temperatura para poder absorber el calor de los cuerpos que se requieren congelar o preservar. Para esto debemos remitirnos a la propiedad que tiene algunas sustancias (líquidos refrigerantes) que al sufrir una expansión al vacío o a una presión inferior a su estado inicial, este absorbe calor del medio ambiente evaporándose a una temperatura muy baja, temperatura que mostrará una tendencia a igualarse a cualquier cuerpo que se encuentre cerca o junto a este, produciendo el efecto de refrigeración deseado.

Se conoce que si, dos procesos de un sistema de refrigeración quedaría solamente correlacionarlos en un ciclo cerrado como en todo sistema de termodinámica, para que sea más entendible utilizaremos la siguiente explicación del diagrama presión-entalpía, figura 2. (Firmino José, 1999).

Con la ayuda del diagrama presión entalpía de un fluido, es posible definir un ciclo de refrigeración, donde en determinado momento el refrigerante se encuentra en estado de vapor sobrecalentado a baja presión cuando proviene del evaporador después éste es comprimido donde el trabajo es adicionado al sistema resultando en un aumento de presión en la descarga, continuando en estado de vapor sobrecalentado ahora con alta presión y alta temperatura para después ocurrir la condensación aquí el calor es retirado del sistema y el refrigerante está en estado de líquido subenfriado.

En el condensador el intercambio de calor es hecho en tres etapas. En la primera etapa el calor sensible es retirado isobáricamente, pasando el fluido de vapor de sobrecalentado a vapor saturado, a continuación el fluido pasa por un proceso de cambio de fase de forma isobárica-isotérmica para finalmente ocurrir un proceso de subenfriamiento a alta presión en estado de líquido subenfriado.

El fluido debe perder presión y temperatura para retornar al sistema de baja presión para eso el refrigerante pasa por un dispositivo de expansión donde el fluido se encuentra en una mezcla líquido más vapor. Faltando, para completar el ciclo, el proceso de evaporación. El fluido irá absorbiendo calor, cambiando de fase, antes de reiniciar el ciclo, el refrigerante es sobrecalentado, evitando la presencia de líquido en el compresor. (Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos/11/presi/presi.shtml>, consultado el 11-12-2009).

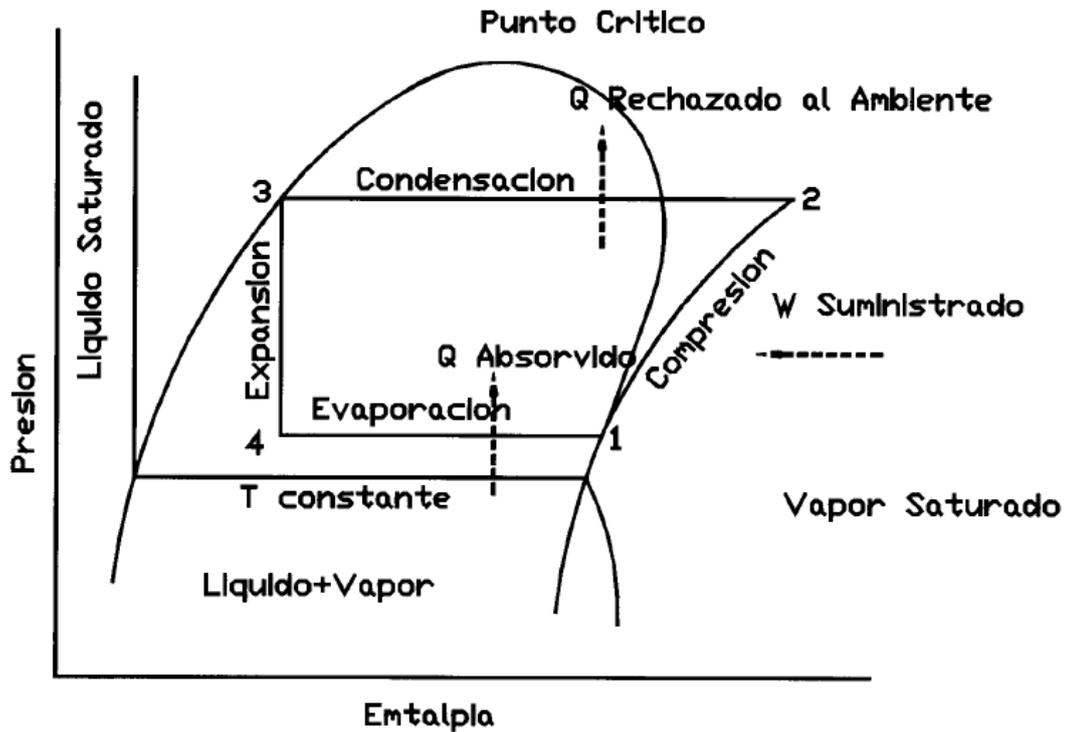


Figura 2. Ciclo estándar, vapor-compresión en el diagrama presión-entalpía.

Fuente: Firmino José, 1999.

1.1.2. Sistema de Refrigeración por absorción

Un método alternativo de refrigeración es por absorción. Sin embargo este método por absorción solo se suele utilizar cuando hay una fuente de calor residual o barato, por lo que la producción de frío es mucho más económica y ecológica, aunque su rendimiento es bastante menor, en estos sistemas la energía suministrada es, en primer lugar, energía térmica.

El refrigerante no es comprimido mecánicamente, sino absorbido por un líquido solvente en un proceso exotérmico y transferido a un nivel de presión superior mediante una simple bomba. La energía necesaria para aumentar la presión de un líquido mediante una bomba es despreciable en comparación con la energía necesaria para comprimir un gas en un compresor. A una presión superior, el refrigerante es evaporado-desorbido (separación de la materia gaseosa del cuerpo sólido mediante entrega de calor a un cuerpo) del líquido solvente en un proceso endotérmico, o sea mediante calor. A partir de este punto, el proceso de refrigeración es igual al de un sistema de

refrigeración por compresión. Por esto, al sistema de absorción y desorción se le denomina también "compresor térmico".

En este sistema de refrigeración por absorción, al igual que en el de compresión se aprovecha que ciertas sustancias absorben calor al cambiar de estado líquido a gaseoso. En el caso de los ciclos de absorción se basan físicamente en la capacidad de absorber calor que tienen algunas sustancias, tales como el agua y algunas sales como el bromuro de litio, al disolver, en fase líquida, vapores de otras sustancias tales como el amoníaco y el agua, respectivamente.

Más en detalle, el refrigerante se evapora en un intercambiador de calor, llamado evaporador, el cual enfría un fluido secundario, para acto seguido recuperar el vapor producido disolviendo una solución salina o incorporándolo a una masa líquida. El resto de componentes e intercambiadores de calor que configuran una planta frigorífica de absorción, se utilizan para transportar el vapor absorbido y regenerar el líquido correspondiente para que la evaporación se produzca de una manera continúa.

(Disponible en: <http://www.caloryfrio.com/index.php/200712282796/aire-acondicionado/bomba-de-calor-reversible/sistemas-de-refrigeracion.html>, consultado el 11-12-2009).

- **Ventajas e inconvenientes de la refrigeración por absorción**

El rendimiento es menor que en el método por compresión (0,8 frente a 5,5), sin embargo en algunos casos compensa el que la energía proveniente de una fuente calorífica sea más económica, incluso residual o un subproducto destinado a desecharse.

También hay que tener en cuenta que el sistema de compresión, utiliza normalmente la energía eléctrica, y cuando ésta llega a la toma de corriente lo hace con un rendimiento inferior al 25 % sobre la energía primaria utilizada para generarla, lo que reduce mucho las diferencias de rendimiento.

Al calor aportado al proceso de refrigeración se le suma el calor sustraído de la zona enfriada. Con lo que el calor aplicado puede volverse a reutilizar. Sin

embargo, el calor residual se encuentra a una temperatura más baja (a pesar de que la cantidad de calor sea mayor), con lo que sus aplicaciones pueden reducirse.

Los aparatos son más voluminosos y requieren inmovilidad (lo que no permite su utilización en automóviles, lo que sería muy conveniente como ahorro de energía puesto que el motor tiene grandes excedentes de energía térmica, disipada en el radiador).

Tabla 1 Ventajas y desventajas de las sustancias pares en sistemas de absorción.

Agua / Bromuro de Litio (LiBr)	
Ventajas	Inconvenientes
El refrigerante agua tiene una alta capacidad calorífica.	El sistema no puede enfriar a temperaturas menores del punto de congelación de agua.
La solución de bromuro de litio no es volátil.	El bromuro de litio es solvente en agua sólo limitadamente.
Las sustancias no son tóxicas ni inflamables.	El vacío demanda una alta impermeabilidad del sistema.
Amoníaco (NH₃) / Agua	
Ventajas	Inconvenientes
El refrigerante amoníaco tiene una alta capacidad calorífica.	Presión muy alta del refrigerante (tuberías más gruesas).
Aplicaciones de temperaturas muy bajas, hasta - 60 °C.	Volatilidad del solvente (es necesaria una rectificación).
Propiedades muy buenas de transferencia de calor y masa.	Toxicidad del amoníaco.

En los sistemas de refrigeración por absorción se diferencia entre dos circuitos, el circuito del refrigerante entre compresor térmico, condensador y evaporador, y el circuito del solvente entre el absorbedor y el separador. Una ventaja notable de los sistemas de absorción es que el refrigerante no es un fluoroclorocarbono. La mezcla de refrigerante y solvente en aplicaciones de aire acondicionado y para temperaturas mayores a 0 °C es agua y bromuro

de litio (LiBr). En aplicaciones para temperaturas hasta - 60 °C es amoníaco (NH₃) y agua. Hasta hoy no se han encontrado otras mezclas apropiadas para estas aplicaciones, aunque se están desarrollando sistemas de absorción, en los que el refrigerante es absorbido en matrices sólidas de zeolitos.

(Disponible en: <http://www.caloryfrio.com/index.php/200712282796/aire-acondicionado/bomba-de-calor-reversible/sistemas-de-refrigeracion.html>, consultado el 12-12-09).

1.2. Refrigeración por compresión

El método convencional de refrigeración, y el más utilizado, es por compresión. Mediante energía mecánica se comprime un gas refrigerante. Al condensar, este gas emite el calor latente que antes, al evaporarse, había absorbido el mismo refrigerante a un nivel de temperatura inferior. Para mantener este ciclo se emplea energía mecánica, generalmente mediante energía eléctrica. Dependiendo de los costos de la electricidad, este proceso de refrigeración es muy costoso. Por otro lado, tomando en cuenta la eficiencia de las plantas termoeléctricas, solamente una tercera parte de la energía primaria es utilizada en el proceso. Además, los refrigerantes empleados hoy en día pertenecen al grupo de los fluoroclorocarbonos, que por un lado dañan la capa de ozono y por otro lado contribuyen al efecto invernadero.

Un ciclo simple frigorífico comprende cuatro procesos fundamentales como:

- **La regulación**

El ciclo de regulación ocurre entre el condensador y el evaporador, en efecto, el refrigerante líquido entra en el condensador a alta presión y a alta temperatura, y se dirige al evaporador a través del regulador.

La presión del líquido se reduce a la presión de evaporación cuando el líquido cruza el regulador, entonces la temperatura de saturación del refrigerante entra en el evaporador y será en este lugar donde se enfría.

Una parte del líquido se evapora cuando cruza el regulador con el objetivo de bajar la temperatura del refrigerante a la temperatura de evaporación.

- **La evaporación**

En el evaporador, el líquido se vaporiza a presión y temperatura constante gracias al calor latente suministrado por el refrigerante que cruza el espacio del evaporador. Todo el refrigerante se vaporiza completamente en el evaporador, y se recalienta al final del evaporador.

Aunque la temperatura del vapor aumenta un poco al final del evaporador debido al sobrecalentamiento, la presión se mantiene constante.

Aunque el vapor absorbe el calor del aire alrededor de la línea de aspiración, aumentando su temperatura y disminuyendo ligeramente su presión debido a las pérdidas de cargas a consecuencia de la fricción en la línea de aspiración.

- **La compresión**

Por la acción del compresor, el vapor resultante de la evaporación es aspirado por el evaporador por la línea de aspiración hasta la entrada del compresor. En el compresor, la presión y la temperatura del vapor aumenta considerablemente gracias a la compresión, entonces al vapor a alta temperatura y a alta presión es devuelto por la línea de expulsión.

- **La condensación**

El vapor atraviesa la línea de expulsión hacia el condensador donde libera el calor hacia el aire exterior. Una vez que el vapor ha prescindido de su calor adicional, su temperatura se reduce a su nueva temperatura de saturación que corresponde a su nueva presión. En la liberación de su calor, el vapor se condensa completamente y entonces es enfriado. El líquido enfriado llega al regulador y está listo para un nuevo ciclo.

(Disponible en: <http://www.caloryfrio.com/el-saber-hacer-/aire-acondicionado/sistema-de-refrigeracion-por-compresion.html>, consultado el 12-12-09).

1.2.1. Conceptos de Termodinámica.

Transformación isotérmica- Se denomina isotérmica a cualquier transformación que ocurre a temperatura constante.

Transformación isocórica.- Se dice que una transformación es isocórica cuando el cuerpo que la experimenta no cambia su volumen.

Transformación isobárica.- Se denomina transformación isobárica la que se realiza a presión constante.

Transformación adiabática.- Es una transformación que tiene lugar de modo tal que el sistema no gana ni pierde calor.

Entropía.- Magnitud termodinámica que mide la parte no utilizable de la energía contenida en un sistema.

Entalpía.- Magnitud termodinámica de un cuerpo, igual a la suma de la energía interna más la presión por el volumen en que ocurre el evento.

Cantidad de calor (Q).- Es la energía que hay que comunicar o extraer a una masa para cambiar su temperatura.

Calor específico (C).- Es la cantidad de calor, hay que suministrar a una unidad de masa para variar su temperatura un grado.

Con estos conceptos básicos se puede estudiar y analizar lo que ocurre en un ciclo vapor-compresión en un sistema de refrigeración. (Firmino José, 1999).

A continuación se representa el ciclo básico de refrigeración en la que comprende los siguientes procesos, figura 3.

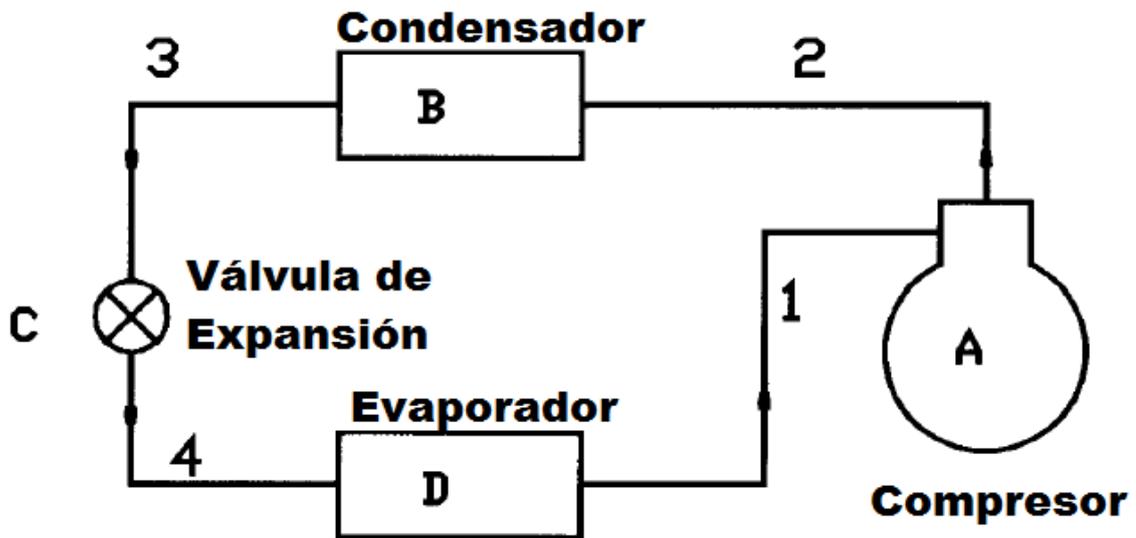


Figura 3. Diagrama de flujo estándar de un sistema vapor-compresión

Elementos que intervienen en un sistema de refrigeración

- A. Máquina térmica o compresor.
- B. Condensador.
- C. Proceso de expansión.
- D. Evaporador.

1.2.2. Otros equipos y accesorios del sistema de refrigeración.

- **Presostato.**- Dispositivo que permite mantener constante la presión de un fluido en un circuito.
- **Termostato.**- Su función es apagar o encender automáticamente el compresor a fin de mantener el área refrigerada dentro de un campo de temperaturas.
- **Ventilador.**- Su función es aumentar el flujo de aire para mejorar el intercambio de calor. Generalmente está en el área del condensador. Según el tipo de dispositivo que sea, puede haber o no en el área del evaporador.
- **Termómetro.**- Instrumento que sirve para medir la temperatura.

- **Barómetro.-** Instrumento para medir la presión atmosférica, es decir, la fuerza por unidad de superficie ejercida por el peso de la atmósfera. Como en cualquier fluido esta fuerza se transmite por igual en todas las direcciones.

(Disponible en: <http://es.wikipedia.org>, consultado el 20-12-09).

1.3. Proceso básico del ciclo de refrigeración.

Como se muestra en la figura 3:

Proceso 1-2.- El compresor succiona el vapor a una presión y temperatura baja y lo comprime utilizando una fuente de suministro de trabajo mecánico que en este caso particular de este informe técnico, el suministro de trabajo es a través de un motor eléctrico.

Esta compresión ocurre en el interior del compresor disminuyendo el volumen del gas aumentando por consiguiente su temperatura, este proceso ocurre en una transformación a entropía constante.

Proceso 2-3.- El vapor a alta temperatura y alta presión que entrega al compresor se circula por un condensador, que su objetivo consiste en rechazar calor al ambiente, normalmente es utilizando aire forzado o agua. Como se puede apreciar en el punto 3 se tiene líquido refrigerante a una presión elevada.

Proceso 3-4.- Aprovechando que se tiene líquido refrigerante a alta presión, se lo expone al principio de expansión al vacío. Este proceso ocurre a entalpía constante, pasando de líquido saturado a alta presión a vapor+líquido a baja presión, produciendo un cambio de temperatura negativo, en el momento de realizar la transferencia de calor con el cuerpo que se quiere conservar o congelar, esto ocurre en el evaporador.

La temperatura de evaporación depende de la presión en que se encuentre el líquido saturado y además cada líquido refrigerante no tiene la misma temperatura de evaporación a la misma presión, esto indica que al diseñar

un sistema de refrigeración se determina que líquido refrigerante se va a utilizar.

Proceso 4-1.- La baja de temperatura y baja presión del líquido en el punto 4 es aprovechada por el evaporador para absorber la energía calorífica del medio en que se encuentre, esta transformación ocurre a presión constante, por ende es isobárica, en este proceso el líquido+vapor que entra al evaporador es convertido a vapor saturado por la transferencia de calor generada en el intercambiador de calor. Se puede concluir que un evaporador es un equipo que capta la energía calorífica del ambiente donde está instalado, este intercambio, evapora el líquido refrigerante que tiene en su interior, transmitiendo la baja temperatura a través de un agente que puede ser aire a algún líquido. Cuando termina este proceso de evaporación, el vapor saturado a presión baja e ingresa nuevamente al compresor, repitiendo nuevamente el ciclo. (Firmino José, 1999).

1.4. Sustancias Refrigerantes

Una sustancia refrigerante es el medio de transmisión del calor, que absorbe calor al evaporarse a baja temperatura y lo cede al condensarse a alta temperatura y presión.

En el Combinado Lácteo utilizan el AMONÍACO como sustancia, sus características se muestran en la tabla 2.

Tabla 2 Características del amoníaco.

CARACTERÍSTICAS DEL AMONÍACO						
Composición.	Número de identificación.	Formula química.	Punto de fusión (°C).	Punto de ebullición. (°C)	Densidad relativa	Peso molecular
Compuesto inorgánico	717	NH ₃	77,7	33,35	0.68	17gr

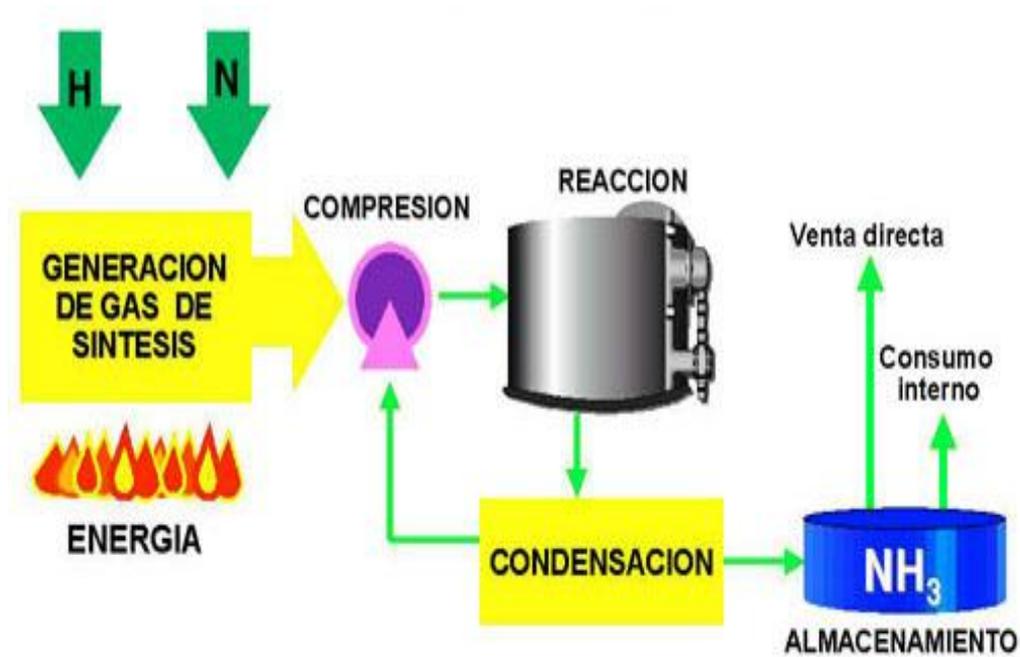


Figura 4. Obtención del amoníaco.

Esta sustancia reacciona con el cobre, el latón u otras aleaciones de cobre en presencia del agua. Por tanto, el hierro y el acero son los metales comúnmente empleados en los sistemas de amoníaco.

Se disuelve en agua, y en pequeñas concentraciones, los efectos sobre los alimentos es insignificante, pero en altas concentraciones, o con largos períodos de exposición, los alimentos toman mal sabor, e incluso pueden ser tóxicos. Figura 4.

Su fuga se detecta fácilmente por el olor. Quemando azufre en presencia de amoníaco se formarán humos blancos de sulfato de amonio, que denunciarán el escape.

El sistema de refrigeración industrial con amoníaco es uno de los más baratos, de manera general cuesta un 10 a un 20 % menos para instalar que otros sistemas que usan refrigerantes industriales competitivos.

Termodinámicamente, el amoníaco es de 3 a 10 % más eficiente que los otros refrigerantes; como resultado, un sistema de refrigeración de amoníaco tiene menor consumo eléctrico. El costo del amoníaco por sí mismo es significativamente menor que el de los otros refrigerantes, y se requiere de

una menor cantidad para la misma aplicación que otros refrigerantes.

(Disponible en:

<http://monografias.com/trabajos/termodinamica/termodinamica.shtml>,
consultado el 21-12-09).

Se usa principalmente en las grandes industrias y en las instalaciones de baja temperatura como congelación de alimentos y plantas lecheras.

A continuación se muestra una tabla con los parámetros termodinámicos de algunas sustancias de trabajo:

Clasificación de los refrigerantes

Tabla 3. Clasificación de los refrigerantes

Número de Identificación del refrigerante	Nombre químico	Fórmula química	Peso molecular en gramos	Punto de ebullición en °C a 1,013 bar
Grupo primero: Refrigerante de alta seguridad				
R-11	Triclorofluorometano	CCl ₃ F	137,4	23,8
R-12	Diclorodifluorometano	CCl ₂ F ₂	120,9	-28,8
R-13	Clorotrifluorometano	CClF ₃	104,5	-81,8
R-13B1	Bromotrifluorometano	CBrF ₃	148,9	-58
R-14	Tetrafluoruro de carbono	CF ₄	88	-128
R-21	Diclorofluorometano	CHCl ₂ F	102,9	8,92
R-22	Clorodifluorometano	CHClF ₂	86,5	-40,8
R-113	1,1,2-Triclorofluoretano	CCl ₂ CClF	187,4	47,7
R-114	1,2Diclorotetrafluoretano	CClF ₂ CClF ₂	170,9	3,5
R-115	cloropentafluoretano	CClF ₂ CF ₃	154,5	-38,7
R-C318	octofluorociclobutano	C ₄ F ₈	200	-5,9
R-500	R-12 (73,8%) + R-152 a (26,2%)	CCl ₂ F ₂ /CH ₃ CHF ₂	99,29	-28
R-502	R-22 (48,8%) + R-115(51,2%)	CHClF ₂ /CClF ₂ CF ₃	112	-45,6
R-744	Anhidrido Carbonico	CO ₂	44	-78,5
Segundo grupo: Refrigerante de medida seguridad				
R-30	Cloruro de Metileno	CH ₂ Cl ₂	84,9	40,1
R-40	Cloruro de Metileno	CH ₃ Cl	50,5	-24
R-160	Cloruro de Etileno	CH ₃ CH ₂ Cl	64,5	12,5
R-611	Formiato de Metilo	CHOOCH ₃	60	31,2
R-717	Amoníaco	NH ₃	17	-33
R-764	Anhidrido Sulfuroso	SO ₂	64	-10
R-1130	1,2- Dicoetileno	CHCl=CHCl	96,9	48,5
Grupo tercero: Refrigerante de baja seguridad				
R-170	Etano	CH ₃ CH ₃	30	-88,6
R-290	Propano	CH ₃ CH ₂ CH ₃	44	-42,8
R-600	Butano	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₃	58,1	0,5
R-600a	Isobutano	CH(CH ₃) ₃	58,1	-10,2
R-1150	Etileno	CH ₂ =CH ₂	28	-103,7

Fuente: (Reglamento De Seguridad Para Plantas e Instalaciones Frigoríficas, 1979).

1.4.1. Aplicaciones de los refrigerantes.

- **Amoníaco.** Se emplea en máquinas frigoríficas de compresión, para temperatura de ebullición de hasta $-30 - 40$ °C.
- **Freón 22.** Se emplea en máquinas frigoríficas de compresión para temperaturas de ebullición de hasta -30 y -40 °C. Posee una capacidad frigorífica volumétrica más alta que el freón 12.
- **Freón 11.** Posee una baja capacidad frigorífica volumétrica, se emplea en turbo compresores de relativa pequeña potencia.
- **Mezclas no Azeotrópicas.** Se usan en máquinas frigoríficas de absorción.
- **Agua.** Se emplea en las máquinas frigoríficas con eyector de vapor en las que se puede comprimir grandes volúmenes de vapor.

1.4.2. Efectos del amoníaco para la salud.

La exposición a concentraciones sumamente altas de amoníaco puede causar la muerte, ceguera, lesión pulmonar, colapso y convulsiones. La inhalación de altas concentraciones de amoníaco puede causar acumulación de líquido en los pulmones y posible lesión pulmonar. La exposición a altas concentraciones de amoníaco puede quemar los ojos, la piel, la garganta y los pulmones. La inhalación de bajas concentraciones de amoníaco puede ocasionar tos, sibilancia, dificultad respiratoria, laringitis, dolor de cabeza, fiebre, náuseas, vómito, flema espumosa de color rosado, dolor en el pecho, asma, aceleración del pulso e hipertensión arterial. La ingestión de amoníaco puede quemarle la boca, la garganta y el estómago y causarle dolor abdominal intenso. Las salpicaduras de la piel con amoníaco concentrado pueden ampollarle la piel o causarle quemaduras graves o dermatitis. La exposición de los ojos puede causarle conjuntivitis, irritación o lesión de la córnea y ceguera temporal o permanente. El amoníaco puede acarrear un mayor riesgo si usted tiene enfermedad de la córnea, glaucoma o enfermedad respiratoria crónica.

En la tabla 4 se muestra el Grado de Toxicidad del Amoníaco (NH_3)

Tabla 4. Grado de toxicidad del amoníaco.

Refrigerante	Muerte o serios daños			
	Duración de la exposición, h	Concentración en el aire		
		% en volumen	kg·1000 m ³ a 20 °C	Clase
Amoníaco	½	0.5-0.6	3.2-4.8	2

1.4.3. Ventajas en el empleo del Amoníaco.

Algunas de las principales ventajas del empleo de esta sustancia se observan a continuación:

- Tiene buenas propiedades termodinámicas así como transferencia de calor y masa, bajo condiciones específicas de operación, el coeficiente de comportamiento del sistema de refrigeración es uno de los mayores.
- Mayor efecto refrigerante, 6 veces más que los HFCs (hidroclorofluorocarbonos)
- Mejor transferencia de calor, es de menor densidad que los HFCs por lo cual la película que permite es más delgada y de mayor fluidez.
- No reacciona químicamente con todos los materiales de refrigeración excepto aquellos fabricados con cobre y sus aleaciones.
- Es el refrigerante actual de más bajo precio.
- Las máquinas de refrigeración tienen un precio competitivo, no solo en la inversión inicial, sino en los costos de operaciones, notablemente en el consumo energético.
- El gas de amoníaco es dos veces más ligero que el aire, en caso de emisión al medio ambiente se dispersa rápidamente en la atmósfera, donde se descompone después de pocos días.
- En el caso de desagüe líquido, el amoníaco ebulle inmediatamente porque su punto de ebullición es de -33 °C , a presión atmosférica, no teniendo el riesgo de contaminar el subsuelo o las aguas de la superficie.

- No provoca efecto invernadero, su emisión no contribuye a calentar el planeta.
- El amoníaco es compatible con el medio ambiente. No destruye la capa de ozono y no contribuye al calentamiento global de la tierra.
- El amoníaco tiene propiedades termodinámicas superiores, por lo que los sistemas de refrigeración con amoníaco consumen menos energía eléctrica.
- El olor característico del amoníaco es su mayor cualidad de seguridad. A diferencia de otros refrigerantes industriales que no tienen olor, porque las fugas son detectadas fácil y rápidamente.
- El olor punzante del amoníaco motiva a los individuos a abandonar el área donde se presente una fuga antes de que se acumule una concentración peligrosa.

Costo y disponibilidad.- El costo del amoníaco es mucho menor que cualquier refrigerante sintético. De tal manera cuesta de 10 a 20 % menos en las instalaciones, por ser una sustancia natural, no tiene una fecha límite en que se pueda producir o usar, a diferencia de otros refrigerantes sintéticos cuyo uso o producción está limitada a una cierta cantidad de años. (Disponible en: <http://www.refrigeracionindustrial.com/cgi-bin>, consultado el 23-12-09).

1.5. Estimación de la Carga Térmica

Carga Térmica en Refrigeración:

También nombrada como carga de enfriamiento, es la cantidad de energía que se requiere vencer en un área para mantener determinadas condiciones de temperatura y humedad para una aplicación específica (ej. Confort humano). Es la cantidad de calor que se retira de un espacio definido. (Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos6/meti/meti/.shtml>, consultado el 23-12-09).

El sistema de refrigeración se emplea para mantener fría una cámara y todo lo que esté contenido en ella, es necesario extraer el calor inicial y después pueda ir entrando en la cámara por bien aislada que esté.

El requerimiento total de refrigeración, Q total, puede establecerse como:

$$Q \text{ total} = Q \text{ producto} + Q \text{ otras fuentes}$$

En la anterior expresión, los términos del segundo miembro tienen el siguiente significado:

Q producto = Representa los sumandos necesarios que tiene en consideración en la carga térmica a eliminar procedente del calor sensible, del calor latente de solidificación, de las reacciones químicas del embalaje y del calor absorbido para la congelación del agua de los alimentos o productos que se desea refrigerar.

Q otras fuentes = Incluye entre otros los flujos de calor a través de los cerramientos de la cámara por transmisión de paredes, suelo y techo, la refrigeración para el aire exterior que se introduce, la ventilación, las cargas térmicas debidas a ventiladores, bombas, iluminación eléctrica, personas que manipulan los productos, etc.

Como el calor generado en las 24 horas de un día se ha de extraer en un número de horas menor, en las horas de funcionamiento diario, la potencia frigorífica de la maquinaria NR habrá de ser superior a la potencia Q total calculada para extraer en las 24 horas. Su valor será: $NR = \frac{Q_{total}}{t}$

Cualquier sistema que se diseñe para mantener las condiciones de confort de un local determinado deberá tener en cuenta las aportaciones de calor de todas las fuentes que interactúan con este.

Las cargas térmicas pueden clasificarse según:

Por su origen estas pueden ser:

a) Exteriores. Aportaciones de calor originadas en el exterior del local acondicionado, estas pueden ser debido a:

Radiación solar, es la aportación que se efectúa desde el sol a través de los cristales que conforman la habitación.

Radiación y transmisión de calor a través de las paredes, techo y ventanas, debido a la diferencia de temperatura entre la superficie interior y la exterior.

Transmisión de calor a través de infiltraciones de aire desde fuera del local analizado, ocurre por la diferencia de temperatura entre el aire que entra como infiltración y la existente en el local.

Transmisión de calor a través de tabiques, esto ocurre por la diferencia de temperaturas entre las superficies exterior e inferior del tabique.

Aire exterior necesario para la ventilación, es necesario para renovar el interior y suprimir los olores.

Llamaremos tabique a las paredes que dan a otro local y que no reciben sol.

b) Interiores. Son aportaciones de calor que se originan en el interior de los locales acondicionados, pueden ser originadas por:

Calor emitido por los ocupantes del local, este calor está originado por el metabolismo del cuerpo humano.

Iluminación eléctrica, es originada por el calor desprendido por la iluminación dispuesta en el local.

Equipos y motores, es el calor desprendido durante el funcionamiento de estos dispositivos dentro del local.

Procesos.

Por su naturaleza estas pueden ser:

a) Sensibles. Es una aportación de calor o aumento de la temperatura del local, todas las fuentes son emisoras de calor sensible.

b) Latentes. Provocan un aumento del contenido de humedad del aire o provoca un aporte de vapor al aire, las fuentes de aporte de calor latente en los locales son: por infiltraciones, por las personas que ocupan el local, por el aire exterior empleado como ventilación y por algunos procesos que pueden originarse en el local.

Por su comportamiento estas pueden ser:

a) Constantes. Son aquellas en la que su magnitud es constante durante todo el tiempo como por ejemplo las producidas por la iluminación, los motores o determinados procesos.

b) Variables. Son aquellas cargas térmicas que varían en el tiempo entre las que podemos encontrar la radiación solar, la ganancia de calor a través de paredes y techos, etc. (Hernández, Yoan. 2009).

CAPÍTULO II.

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS.

2.1. Metodología empleada para el cálculo de la carga térmica.

Para la valoración de la eficiencia energética del sistema de refrigeración, que garantiza el enfriamiento adecuado, se hace necesaria la estimación de la carga térmica que incide.

La Carga térmica es la cantidad de energía que se requiere vencer en un área para mantener determinadas condiciones de temperatura y humedad para una aplicación específica (ej. Confort humano). Es la cantidad de calor que se retira de un espacio definido.

2.1.1. Calor absorbido por el agua helada en el Pasteurizador de Leche

El tratamiento de los líquidos y alimentos es muy importante con la mínima alteración de la estructura física, los componentes químicos y las propiedades organolépticas (sabor, olor, textura, color) de estos.

El equipo de pasteurización se selecciona a partir del cálculo térmico, el cual comprende en si los tipos de ganancia de calor que pueden influir en la variación del régimen de temperatura durante el proceso de pasteurización. Se tienen en cuenta las ganancias de calor por los siguientes conceptos:

- El tipo del fluido.
- Del flujo del fluido que circula por el sistema.
- De la temperatura de entrada del fluido.
- De la temperatura de salida del fluido.

Para el cálculo de la ganancia de calor adquirida por el agua helada a su paso por el pasteurizador realizamos un balance de energía y masa, teniendo en cuenta los valores de flujo y la densidad de cada una de las sustancias que intervienen en el proceso de pasteurización, como se muestra en la tabla5.

El proceso de pasteurización como se muestra en la figura; es el siguiente: El producto llega al tanque de leche donde una bomba lo envía al pasteurizador de placas y se precalienta al pasar por la sección de recuperación del intercambiador recuperando el calor del producto que está saliendo del retenedor, ya pasteurizado. En la sección de calentamiento recircula agua caliente que eleva la temperatura del producto hasta la temperatura de pasteurización y posteriormente pasa al retenedor donde se mantiene esta temperatura durante 15 segundos o más (depende del producto a pasteurizar) para asegurar una correcta pasteurización regresando a la sección de recuperación, donde cede ese calor al producto que entra. Finalmente, después de la etapa de recuperación, el producto pasa por una etapa de enfriamiento para bajar la temperatura del producto hasta 4 °C y permitir su almacenamiento.

Si debido a algún problema la temperatura de pasteurización no es correcta, una válvula automática recircula el producto nuevamente.

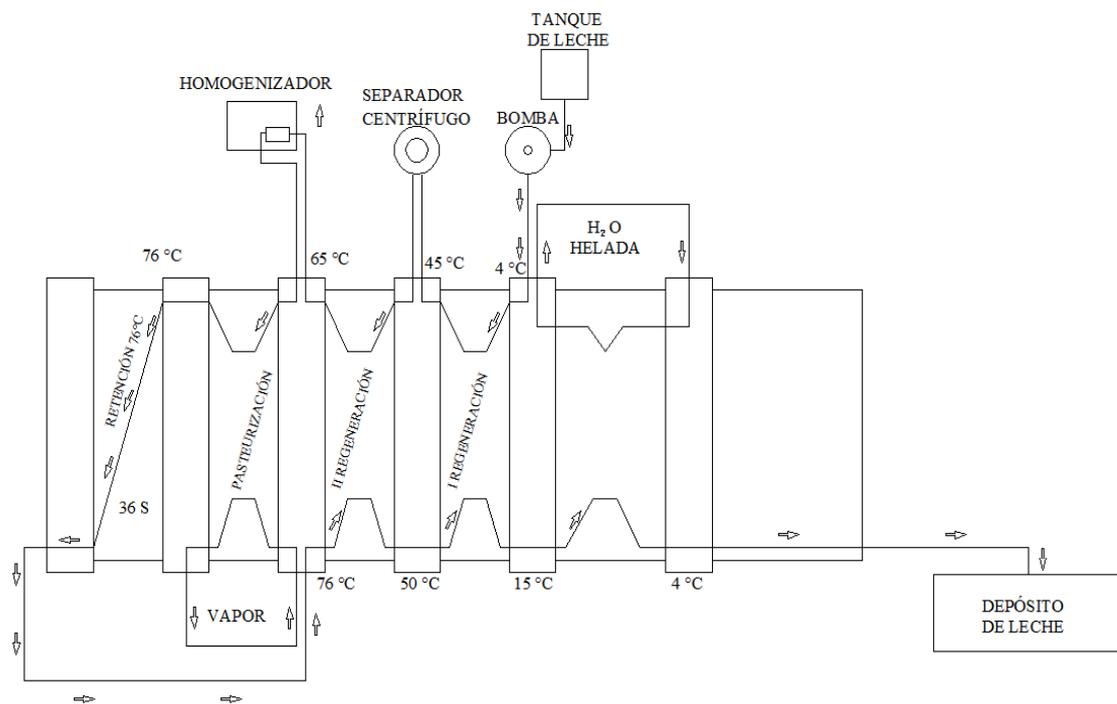


Figura 5. Proceso de pasteurización de leche.

En la tabla 5 se muestran los valores de los caudales de las sustancias que intervienen durante la pasteurización así como los valores de temperatura a la entrada y salida del equipo.

Tabla 5. Valor del caudal y temperatura de entrada y salida de cada uno de las sustancias que entran en el proceso de pasteurizado.

Fluido.	Flujo l/h.	Temperatura de Entrada °C.	Temperatura de Salida °C.
Vapor.	1 160,36	124,4	124,4
Agua.	12 000	0 – 2	12 – 14
Leche.	10 000	4 – 6	4 -6

El valor del flujo de vapor se obtuvo a partir de un balance en el equipo teniendo en cuenta la primera parte de la pasteurización de la leche, en el calentamiento con vapor de agua desde los 4-6 °C hasta los 65- 76 °C.

En función de los valores de la tabla 5 y a partir de un balance de masa y energía en el pasteurizado se calcula el flujo de agua según la ecuación 2.1.

$$G_{\text{agua}} * C_{p\text{agua}}(T_{\text{salida}} - T_{\text{entrada}}) = (G_{\text{leche}}(\Delta t)) \quad (2.1)$$

Donde:

G: Flujo de sustancias en l/h.

C_p: Calor específico en kJ/ kg °C.

T: Temperatura de fluido en °C.

Δt: Diferencia de temperatura a la entrada y salida durante el enfriamiento de la leche en el pasteurizador en °C.

2.2. Determinación de la Ganancia de Calor en el Banco de Agua Helada.

El Banco de agua helada es un evaporador de tipo inundado donde el líquido refrigerante cubre todas las superficies de transmisión de calor. El amoníaco como sustancia refrigerante del ciclo trasiega por dentro del serpentín, el cual se emplea para enfriar el agua que se utiliza en el pasteurizado.

Anexo 1.

La carga térmica que debe asimilar el sistema de refrigeración acoplado al Banco de Agua Helada es el resultado de la suma, del calor absorbido por el agua en el pasteurizador más el calor a través de las superficies de construcción del Banco de Agua Helada.

$$Q_{\text{banco de agua}} = Q_{\text{superficie de construcción}} + Q_{\text{abs. de agua}} + Q_{\text{agitador}} \quad (2.2)$$

$Q_{\text{banco de agua}}$: Ganancia de calor en el banco de agua helada en W.

$Q_{\text{superficie de construcción}}$: Ganancia de calor total de la superficie de construcción en W.

$$Q_{\text{absoluta de agua}} = G_{\text{agua}} C_p (T_{s \text{ past.}} - T_{e \text{ past.}}) \quad (2.3).$$

Donde:

$Q_{\text{absoluta de agua}}$: Ganancia de calor del agua en W.

G_{agua} : Flujo de agua en l/h.

C_p : Calor específico en kJ/kg °C.

Para el caso de la ganancia de calor a través de las superficies constructivas ($Q_{\text{superficie constructiva}}$) emplearemos la expresión siguiente:

$$Q_{\text{superficie constructiva}} = K * F * \Delta T \quad (2.4).$$

Donde:

K : Coeficiente global de transferencia de calor entre el agua helada y el aire ambiente a través de las paredes W/m² °C.

F : Área de transferencia de calor m².

ΔT : Diferencia de temperatura entre el aire y el agua helada (26 °C).

Para los cálculos de la transferencia de calor de una pared o elemento de la construcción se utiliza un coeficiente de transferencia de calor total, que tiene en cuenta los fenómenos indicados precedentemente y permite simplificar dichos cálculos.

El coeficiente de transferencia de calor entre el agua helada y el aire total (K) es la cantidad de calor que se transmite totalmente en una hora a través de un m^2 de superficie, existiendo una diferencia de temperatura de $1\text{ }^\circ\text{C}$ entre el ambiente interno y externo.

Para determinar el valor de K se emplea la expresión:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (2.5).$$

Donde:

α_1 α_2 : Coeficiente pelicular de transferencia de calor por fuera y dentro del banco de agua helada (aire, agua de los fluidos) $\text{W}/\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}$.

d : Espesor de la pared en m.

λ : Conductividad térmica del material que conforma la pared en $\text{W}/\text{m }^\circ\text{C}$.

Las dimensiones de las paredes y techo; así como el material que conforma el banco de agua helada se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Materiales de construcción del banco de agua helada así como sus propiedades.

Pared.	Espesor de los materiales (cm)			Espesor total (cm)	Conductividad térmica λ (W/m °C)		
	Hormigón Armado	Repello	Poliespuma		Hormigón Armado	Repello	Poliespuma
Pared 1.	53	2	11	66	1,5	0,65	29×10^{-3}
Pared 2.	53	2	11	66	1,5	0,65	29×10^{-3}
Pared 3.	53	2	11	66	1,5	0,65	29×10^{-3}
Pared 4.	71	2	11	84	1,5	0,65	29×10^{-3}
Techo.	Madera de pino			3	0,14		

Pared.	Densidad (kg/m ³)		
	Hormigón Armado	Repello	Poliespuma
Pared 1.	-	1,4	15
Pared 2.	-	1,4	15
Pared 3.	-	1,4	15
Pared 4.	-	1,4	15
Techo.	0,55		

Fuente. Lázara Polaino-pag.119 tabla 3.8b.

Para determinar el valor de los coeficientes peliculares de transferencia de calor por convección entre los fluidos y las superficies nos auxiliaremos en la expresión:

$$Nu = \frac{\alpha * h}{\lambda} \quad (2.6).$$

Donde:

Nu: Es el número adimensional Nusselt.

h: Es la dimensión de referencia, longitud de la pared m.

λ: Conductividad térmica del fluido (W/m °C).

Para el caso del aire en convección libre por el exterior del banco de agua helada se emplea la siguiente expresión:

$$Nu = 0,75(GrPr)^{0,25} \quad (2.7).$$

Donde:

Gr: Es el número adimensional Grashof.

Pr: Es el número adimensional Prandtl.

El valor de **GrPr** se determina por la expresión:

$$GrPr = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot h^3}{\nu^2} \quad (2.8).$$

Donde:

g: Aceleración de la gravedad 9,81 m/s².

β: El inverso de la temperatura media del fluido 1/ °K (1/28+273).

ΔT: Diferencia de temperatura entre el aire y la pared exterior 5 °C.

h: Longitud de la pared que se está calculando en m.

ν: Viscosidad del aire a la temperatura media 16 × 10⁻⁶ m²/s.

Pr: Para el aire a 28 °C el valor es 0,703.

De la ecuación 2.6 despejamos el valor de α₁

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda}{h} \quad (2.9).$$

Donde:

λ: Es la conductividad térmica del aire a 28 °C 2,67 × 10⁻² W/m² °C.

Para el caso del agua en el interior del banco de agua helada el valor del coeficiente pelicular de transferencia de calor por convección α_2 (convección forzada) se emplea la ecuación 2.8 y el Nusselt se deriva de la expresión siguiente para el contorno longitudinal forzado de una superficie plana:

$$Nu = 0,67Re^{0.5}Pr^{0.33} \quad (2.10).$$

Donde:

Re: es el número de Reynolds y se determina por la expresión:

$$Re = \frac{\omega \times h}{\nu} \quad (2.11).$$

Donde:

ω : Es la velocidad del agua helada dentro del banco m/s.

ν : Viscosidad del agua helada a 2 °C ($1,692 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$).

Pr: Para el agua a 2 °C (12,84)

λ : Para el agua a 2 °C ($55,56 \times 10^{-2} \text{ W/m}^\circ\text{C}$).

El Área de transferencia de calor F para cada una de las paredes se determina por la siguiente expresión:

$$F = L * A \quad (2.12).$$

Donde:

F: Largo en m.

A: Ancho en m.

Las dimensiones de cada pared del banco se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Dimensiones de cada pared del Banco.

Paredes	Largo (m)	Ancho (m)
Pared 1-3	14	2,6
Pared 2-4	8	2,6
Techo	14	8

Otro elemento a tener en cuenta en las ganancias de calor en el interior del banco es el agitador que se mueve con un motor eléctrico de 5 kW. Como el motor se encuentra fuera y el agitador dentro el calor generado se determina como:

$$Q_{agitador} = N \times (1 - \eta) \quad (2.13).$$

Donde:

N: Potencia del motor en kW.

η : Eficiencia del motor (0,95). (Dato técnico del motor).

Finalmente el $Q_{super\ constructivo}$ es la siguiente:

$$Q_{super\ constructivo} = Q_{pared\ 1} + Q_{pared\ 2} + Q_{pared\ 3} + Q_{pared\ 4} + Q_{techo}$$

Para el cálculo del volumen total de agua en el banco se ha tomado las medidas internas del mismo para lo cual se utiliza la siguiente expresión.

$$V = L * A * h \quad (2.14).$$

Donde:

V: Volumen de agua en m³.

L: Largo de la pared en m.

A: Ancho de la pared en m.

h: Alto de la pared en m.

Tabla 8. Medidas internas del banco de agua.

Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
12,68	6,68	2,50

Luego se ha tomado las medidas del serpentín colocados dentro del banco y utilizamos la ecuación 2.14 con los siguientes datos.

Tabla 9. Medidas del serpentín colocados dentro del banco.

Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)
10,98	6,28	2,10

Para obtener el volumen total en el banco restamos 30 % del volumen del serpentín al volumen total del banco, debido a que estos serpentines recorren casi todo el banco de forma separada y no es sólida, sustituyendo los datos respectivamente el volumen total del agua en el banco es:

$$V_{T.agua} = 118,86m^3 \rightarrow 118\ 860kg$$

2.3. Determinación de los Indicadores de Eficiencia del Sistema de Refrigeración.

A partir del valor de las cargas térmicas calculadas anteriormente para el banco de agua helada, en el pasteurizado y los resultados obtenidos por: Mollinedo, Michel, 2009; para la cámara de queso y leche que también emplean el mismo sistema de refrigeración.

$$Q_{total} = Q_{banco\ de\ agua} + Q_{cámara} \quad (2.15).$$

Con este valor se determina el flujo del amoníaco (NH₃) necesario, partiendo de la temperatura de evaporación óptima que se ha fijado en -13 °C, por debajo del valor de temperatura del agua en el banco de agua helada y apoyándose en el software RefrigerationUtilities, versión 2.8.

La expresión a emplear es la siguiente:

$$Q_{total} = m_r * \mathcal{E}_r \quad (2.16).$$

Donde:

m_r : Flujo de NH₃ (kg/s).

\mathcal{E}_r : Efecto refrigerante.

Despejando m_r

$$m_r = \frac{Q_{total}}{\mathcal{E}_r} \quad (2.17).$$

En la figura 6, a partir del empleo del software se muestra el comportamiento termodinámico del ciclo, hemos tomado una temperatura de condensación existente de 40 °C y una temperatura en el evaporador de -13 °C.

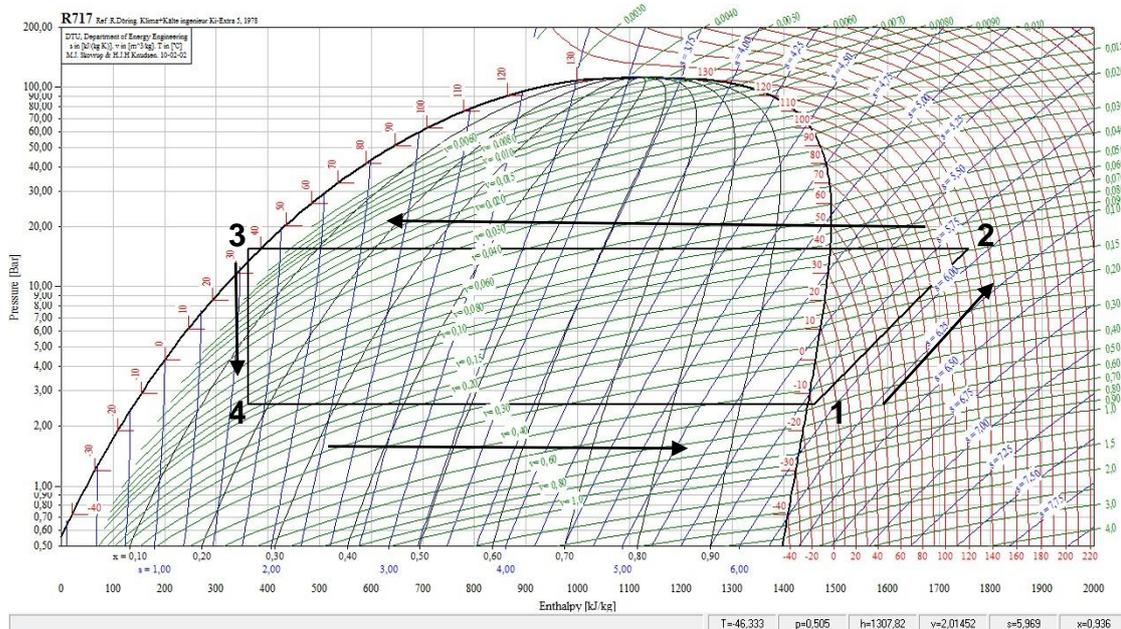


Figura 6. Comportamiento termodinámico del sistema de refrigeración.

Fuente: Software Refrigeration Utilities versión 2.8

Los valores de las entalpías en cada punto según figura 6 son:

$$h_1 = 14059,18 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 1760,20 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = 362,64 \text{ kJ/kg}$$

$$h_4 = 362,64 \text{ kJ/kg}$$

Los datos nominales del compresor instalado son (ver fotografía de la máquina. Anexo 2.):

Presión succión 1,5 atm.

Presión descarga 15 atm.

Potencia eléctrica 190 kW.

Caudal de amoníaco 508,5 m³/h.

Rendimiento electromecánico del motor 0,85. (Dato técnico del motor).

Conociendo el flujo de NH₃ se puede calcular la potencia del compresor y el calor rechazado en el condensador por la siguiente expresión.

$$P_c = m_r(h_2 - h_1), \text{ en kW} \quad (2.18).$$

Donde:

P_c : Potencia del compresor en kW.

m_r : Flujo de NH₃ en (kg/s).

h_1, h_2 : Entalpía a la entrada y salida del compresor respectivamente kJ/kg

$$Q_{rechazado} = h_2 - h_3 \text{ en kW.} \quad (2.19).$$

Donde:

h_2, h_3 : Entalpía del refrigerante a la entrada y salida del condensador. kJ/kg.

El coeficiente de funcionamiento de la instalación se determina con la siguiente expresión:

$$COP = \frac{Q_{necesario}}{P_{compresor}}$$

CAPÍTULO III.

CAPÍTULO III. TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS.

3.1 Resultados del cálculo de carga térmica

En la tabla 10 y figura 7 se muestran los resultados del cálculo de la carga térmica en el banco de agua helada y de los resultados obtenidos por Valdés Jesús, 2009 en las neveras acopladas al mismo sistema de refrigeración que se analiza en el trabajo.

Tabla 10 valores de Carga Térmica a vencer por el sistema de refrigeración.

Ganancia de calor	Cámara 1 W	Cámara 2 W	Cámara 3 W	Banco de agua helada W
Paredes	9 253	18 578,9	8 750,9	619,2
Techos	7 204,4	19 992	4 472	142,34
Puertas	231	231	115,5	
Producto	21 000	97 321	6 572	467 133
Infiltración de aire	21 898	53 908	10 949	-----
Iluminación	132	99	66	
Motores	3 600	3 600	3 600	315
Personas	700	700	350	
Total	66 018,4	194 429,9	34 875,9	468 216,4

Fuente: Valdés Jesús, año 2009

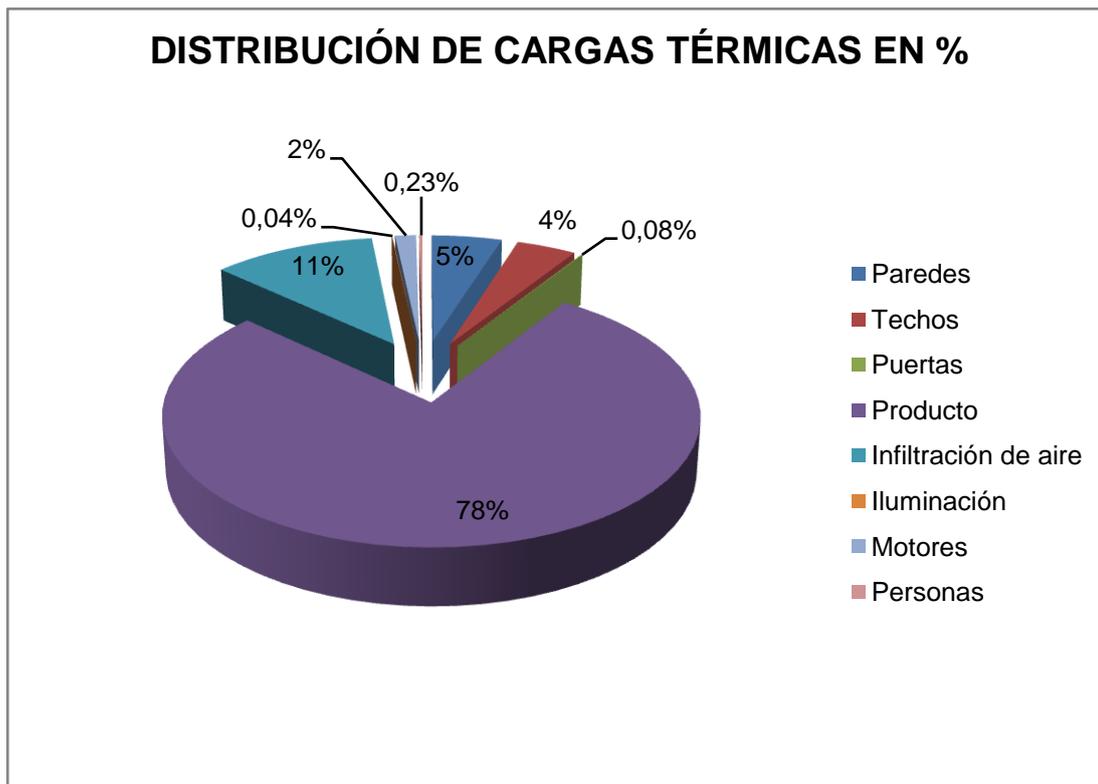


Figura 7. Distribución de cargas térmicas (total) en %.

Para este análisis emplearemos como medio de comparación los resultados que se plantean de los estudios realizados por (Castro Chagas, 2003) a fin de determinar el grado de influencia de los diferentes factores que componen el sistema, como se observa en la figura 7 los elementos que mayor influencia y que enunciamos por su orden son los productos de cada cámara seguidos por las infiltraciones y los elementos aislantes de techos y paredes, esta composición se asemeja a los resultados del autor anteriormente citado.

Es importante la incidencia que aporta el elemento producto en la figura 7 donde su significación es la del 78 % esto pudiera parecer exagerado pero en el caso de esta instalación ya mencionamos que este sistema por cuestiones de seguridad en la pasteurización de la leche y por las características del refrigerante empleado como se requiere de un banco de agua helada el cual aporta a la carga térmica un total de 467,133 kW. Este significa el 61,34 % de la carga total.

Como se observa en la tabla 10 el mayor aporte de ganancia de calor al sistema lo representa el agua que se está enfriando, representando el 99,77 % del valor total.

Sumando todos los valores de carga térmica a partir de la tabla 10, el sistema de refrigeración debe vencer una carga térmica de **761,53 kW**.

3.1.1. Comportamiento de los indicadores de eficiencia del sistema de refrigeración instalado en el banco de agua helada.

Aplicando el software Refrigeration Utilities a las condiciones actuales de explotación el valor obtenido por los indicadores de eficiencia del ciclo son:

Efecto refrigerante	1 095,512 kJ/kg.
Calor rechazado en el condensador	1 394,421 kJ/kg.
Trabajo de en el compresor	298, 910 kJ/kg.
Coeficiente de funcionamiento	3,67.
El flujo de amoníaco	0,56 kg/h.
Capacidad de refrigeración	613,486 kW.
Calor cedido en el condensador	780 ,876 kW.
Potencia del compresor	167,389 kW.

Comparando con los datos de chapilla del compresor existente se puede apreciar que a máxima carga de explotación de la instalación el sistema le resulta difícil vencer toda la carga térmica.

3.2 Propuesta de enfriamiento de las cámaras de conservación de leche y queso a partir del agua helada.

El agua helada es ampliamente utilizada hoy en día para climatizar locales. También se está imponiendo en la refrigeración en lugares donde se requieren temperaturas cercanas a cero grados centígrados. Cuando hay que bajar la temperatura por debajo de cero se le adiciona al agua algunas sustancias anticongelantes.

Esta agua puede ser usada en acumuladores de frío, estos han sido de gran uso en las instalaciones de refrigeración industrial donde se requiere una

gran capacidad durante tiempos breves. Ejemplo: en las pasteurizadoras de leche la demanda de frío, en algunas horas del día, supera 2 ó 3 veces la capacidad frigorífica de la instalación.

Los acumuladores de frío, hoy en día, son de gran uso a escala mundial. En la climatización es práctica usual incluirla dentro de las propuestas por su sencillez y fácil explotación. (CA, IRC, 2005). Disminuye la instalación eléctrica y la capacidad o cantidad de los transformadores, así como la máxima demanda eléctrica.

Disminuye el costo de la energía, ya que se produce entre el 40 y el 60 % del consumo en horas de la noche y la madrugada donde la tarifa es menor. (CA, IRC, 2005).

El aprovechamiento de las horas nocturnas para acumular frío y el apagado de las máquinas durante las horas pico favorece al sistema electroenergético nacional.

La tecnología combinada de utilización del agua como agente refrigerante y con ella acumular frío durante los horarios de menor demanda eléctrica es poco usada en Cuba, se desperdicia una potencialidad de ahorros cuantiosos (tanto energéticos como de refrigerantes) en instalaciones como la estudiada.

En estos casos el agua puede ser utilizada como refrigerante secundario para enfriar el aire en las cámaras frigoríficas.

3.2.1. Variantes modernas para el enfriamiento de aire.

Enfriador de aire: Enfriador con ventilación mecánica utilizado en la instalación de refrigeración. Pueden utilizar amoníaco, agua u otro refrigerante.

Es común el enfriador con la variante de tubos aleteados por el interior de los cuales circula el agua helada impeliendo el aire por el exterior de estos, utilizando ventiladores para crear un tiro forzado. Esta variante determina la

necesidad de tener una diferencia de temperatura entre el agua y el aire de alrededor de 10 °C.

Según Gómez Guillermo, 2005, la utilización de esta variante en un frigorífico como el estudiado (con temperaturas cercanas a cero °C) impone la necesidad de utilización de agentes anticongelantes con el consiguiente gasto de operación.

Sin embargo ya se utiliza, internacionalmente, un enfriador de aire por contacto directo (entre el aire y el agua) con el cual esa diferencia de temperatura se reduce casi a cero (Gómez Guillermo, 2005).

La firma Mayekawa Mfg. Co., Ltd.: reporta el trabajo probadamente eficiente de varios sistemas que denominan EUP (Ecological Utility Package). Hacen un análisis y cálculos técnicos reales en instalaciones de este tipo trabajando en varios lugares. El estudio, denominado “Sistemas de refrigeración ecológicos con refrigerante R-717” demuestra la efectividad energética de este tipo de tecnología.

Se describe la utilización combinada del sistema acumulador de frío con un enfriador por contacto directo. El agua es enfriada en una cisterna convenientemente aislada. Esta agua helada se suministra a los difusores instalados en las cámaras los cuales enfrían el aire. Este difusor de aire es del tipo contacto directo entre el aire y el agua cuyo coeficiente de transferencia calórica total resulta 8 veces superior al del método indirecto. Este enfriador se compone de plástico reforzado para menor peso y costo. Las ventajas encontradas al analizar este tipo de instalación (acumulador de frío y evaporador por contacto directo) son las siguientes, entre otras:

- Frigorífico sin la necesidad de deshielo. La carga térmica del frigorífico se reduce de un 10 a un 15 %.
- No se requiere de la instalación de tuberías de amoníaco a las cámaras sino tuberías plásticas para agua que acortan el tiempo y costo de su instalación.

- Mejoramiento de la calidad frigorífica.
- Operación más estable y eficiente del compresor, evitando operación con carga parcial por tener estanque de reserva de agua fría.
- Ahorro de energía de un 20 a un 30 % en el sistema total. Esto se debe a:
 - La temperatura de evaporación es de 3 a 5 °C más alta que el sistema común.
 - La temperatura de condensación es 5 °C más baja que otros sistemas.
 - El COP es más alto, por la temperatura diferencial de 8 a 10 °C menor.

En específico el enfriador por contacto directo usado por Mayekawa anexo 6 y 7) consiste en una empaquetadura a través de la cual circula agua en caída libre proveniente de una bandeja superior hasta otra bandeja inferior en la que es recolectada y retornada a la cisterna para volver a enfriarse. El aire circula en sentido contrario al agua, impelido por un ventilador. La cámara cuenta con un falso techo al interior del cual se inyecta el aire que baja al interior de la cámara por rejillas. Previamente el aire es circulado a través de un separador de gotas para evitar la entrada de gotas de agua a la cámara.

Estudios de este sistema realizados en el IRC (Instituto de Refrigeración de Cuba) demuestran que este enfriador puede ser modificado eliminando la necesidad de falso techo. Ya se trabaja en el diseño de la variante nacional. Anexo 5.

3.2.2. Selección de los enfriadores de aire.

Esta propuesta resulta la de mayor novedad al constituir una solución no introducida aún en Cuba y de nueva aparición en la tecnología mundial (Gómez Guillermo, 2005). En el estudio de esa solución ha trabajado el IRC.

Actualmente este instituto propone la utilización de la tecnología en el país dadas las ventajas que reporta. El diseño que actualmente se perfecciona

tiene características específicas que lo diferencian de la variante usada internacionalmente.

Este equipo, colocado en la parte superior de las cámaras, provoca intercambio de calor entre el agua y el aire de manera eficiente como ningún otro al mantener el contacto entre ambos flujos. La diferencia de temperatura entre uno y otro solo es de 1 °C.

Consiste en un equipo de 0,9 m de altura por cuya parte superior se hace caer agua fría vertida a una bandeja que la rocía (a través de agujeros en su fondo a los cuales se les coloca pequeñas toberas) sobre una empaquetadura de 0,24 m de altura a través de la cual circula también el aire pero en sentido inverso.

Este aire es impelido hacia arriba con la utilización de un ventilador que luego lo inyecta, ya frío, a la cámara.

El agua después de pasar por la empaquetadura cae en una bandeja inferior de la cual se succiona hacia la cisterna nuevamente. El ventilador puede ser de los que se usan hoy en algunas de las cámaras, inyectando el aire en todo su volumen.

A la salida del enfriador, por la parte del aire, se coloca un separador de gotas para eliminar la posibilidad de entrada de agua a la cámara. Este es un aditamento de uso común en otras esferas. Provoca un cambio de dirección del aire impelido y a través de elementos internos hace precipitar las gotas de agua que este arrastra.

Una instalación de este tipo debe alcanzar hoy una relación entre la potencia del equipamiento utilizado para refrigerar y las Toneladas de Refrigeración que es capaz de absorber el sistema de 2 kW/TR. (IRC, 2007, Iglesias M., 2005).

3.2.3. Cálculo de la cantidad de agua necesaria

Asumimos la temperatura del agua a la salida del enfriador de aire 1 °C por debajo de la temperatura del aire a la salida de este al proponerse la utilización de un enfriador por contacto directo del aire con el agua.

Si queremos determinar la cantidad de agua necesaria a enviar a cada cámara para sustituir el amoníaco como refrigerante principal de las mismas partimos de los valores de las siguientes magnitudes:

- Temperatura del aire en las cámaras 6 °C
- Δt : Equipo Diferencial de temperatura entre el agua a la salida y el aire 1 °C.

La expresión que se puede emplear haciendo un balance en el enfriador es la siguiente:

$$Q_{t\acute{e}rmica} = G * C_p * \Delta t \quad (3.1)$$

Despejando:

$$G = \frac{Q_{t\acute{e}rmica}}{C_p * \Delta t} \quad (3.2)$$

Donde:

G: Gasto o flujo de agua necesario para absorber la carga térmica (kg/h).

$C_{p,agua}$: Calor específico del agua a 3 °C (4,185 J/kg °C). (Krasnoschiokov, E.A, 1986).

Δt : Diferencia de temperatura del agua entre la entrada y la salida del enfriador (°C).

Δt : (5 °C – 2 °C)= 3 °C.

Densidad del agua: 0.9999 kg/l. (Krasnoschiokov, E.A, 1986)

De esta manera en la tabla 11 podemos apreciar el flujo de agua necesario en las cámaras de acuerdo a la carga térmica de las mismas.

Tabla 11. Estimación de la demanda de agua fría por cámaras.

Neveras	Q_{term} (W)	Flujo de agua necesario G (kg/s)
Cámara 1	66 097,4	5 264,62
Cámara 2	196 508,9	15 651,84
Cámara 3	34 875,9	2 777,84
Total	297 482,2	23 694,3

La capacidad total de almacenamiento de agua en el banco de agua helada es de 118 860 kg, a partir de los valores de la tabla 11 se puede apreciar que si se alimentan las 3 cámaras con agua fría del banco con los caudales determinados aún permanecerían en este depósito el 80 % del volumen total. Esto quiere decir que en las condiciones actuales de la fábrica se puede emplear el agua fría para estos fines.

3.2.4. Comportamiento de los indicadores de eficiencia del sistema de refrigeración a partir de la nueva propuesta

En las nuevas condiciones propuestas solo se tiene en cuenta la carga térmica del banco de agua próxima a los 468 209,54 W, para lo cual debe tener un sistema de refrigeración acoplado a él, al igual que en las condiciones anteriores garantice mantener la temperatura en 2 °C.

Aplicando el software Refrigeration Utilities versión 2.8 a las nuevas condiciones de explotación los valores obtenidos para los indicadores de eficiencia del ciclo son:

Efecto refrigerante	1 095,512 kJ/kg.
Calor rechazado en el condensador	1 394,421 kJ/kg.
Trabajo en el compresor	298, 910 kJ/kg.
Coefficiente de funcionamiento	3,67.
El flujo de amoníaco	0,45 kg/h.
Capacidad de refrigeración	503,934 kW.
Calor cedido en el condensador	641,434 kW.
Potencia del compresor	137,498 kW.

En la tabla 12 aparece una comparación entre la potencia del compresor y del motor acoplado a él en las condiciones actuales existentes con respecto a la nueva propuesta.

Tabla 12. Comparación entre los valores de potencia para las 2 condiciones,

Condiciones de trabajo	Compresor kW	Moto-compresor kW
Actuales	167,389	190
Enfriamiento del aire de las cámaras con agua fría	137,498	147,84
Diferencia kW	29, 89	42,15

En la tabla 13 aparecen reflejados otros indicadores energéticos importantes que demuestran el mejoramiento de la eficiencia con la nueva propuesta.

Tabla 13. Comparación de los indicadores de eficiencia con respecto a la nueva propuesta.

Condiciones de trabajo	El flujo de amoníaco kg/h	Capacidad de refrigeración kW	Calor cedido en el condensador kW	Coefficiente de funcionamiento
Actuales	0,56	613,486	780 ,876	3,67
Enfriamiento del aires de las cámaras con agua fría	0,45	503,934	641,434	3,67
Diferencia kW	0,11	109,55	139,44	0

El Coeficiente de funcionamiento no experimenta variación, porque se ha mantenido constante, las presiones de condensación y de evaporación en los difusores, así como las condiciones a la entrada del compresor y salida del condensador. A pesar de esto como se observa en la tabla 13 es notable la diferencia con respecto al calor cedido en el condensador, aspecto este que es de vital importancia para la disminución de la presión de condensación que es uno de los elementos que afectan el valor del COP. El sistema de condensación actual existente necesita para su funcionamiento el trabajo al unísono de un condensador evaporativo (anexo 3) con poco tiempo de instalado y de un condensador de tubo y coraza horizontal. Esto quiere decir que se podría eliminar este último, el sistema solo trabajaría con el evaporativo y para este tipo de condensadores si el sistema está trabajando establemente según diseño la temperatura de condensación estaría próxima a 35 °C.

Aplicando el software Refrigeration Utilities versión 2.8 a las nuevas condiciones de explotación, variando la temperatura de condensación los valores obtenidos para los indicadores de eficiencia del ciclo son:

Efecto refrigerante	1 119,06 kJ/kW.
Calor rechazado en el condensador	1 390,163 kJ/kW.
Trabajo en el compresor	271,097 kJ/kW.
Coeficiente de funcionamiento	4,13.
El flujo de amoníaco	0,45.
Capacidad de refrigeración	503,580 kW.
Calor cedido en el condensador	625,574 kW.
Potencia del compresor	121,994 kW.

En tabla 14 se muestra una comparación empleando agua fría para el enfriamiento de aire en cámara a diferentes temperaturas de condensación

Tabla 14. Variación de los indicadores de eficiencia al variar la temperatura de condensación.

Condiciones de trabajo	El flujo de amoníaco kg/h	Capacidad de refrigeración kW	Calor cedido en el condensador kW	Coefficiente de funcionamiento
Enfriamiento del aires de las cámaras con agua fría T_{cond} 40 °C	0,45	503,934	641,434	3,67
Enfriamiento del aires de las cámaras con agua fría T_{cond} 35 °C	0,45	503,580	625,574	4,13
Diferencia kW	0	0	15,86	0,46

Con la disminución de la presión de condensación se podría disminuir la potencia del compresor en 15,50 kW y aumentar el COP en 0,46.

3.3. Impacto económico y medioambiental de los resultados del trabajo. Equipos actuales instalados en el sistema con sus potencias nominales.

3.3.1. Impacto económico de las propuestas por el trabajo de los motores eléctricos

En la tabla 15 apreciamos la potencia de los motores en cada una de las cámaras.

Tabla 15. Motores en la Cámara.

Motores	Cámara 1	Cámara 2	Cámara 3
Tipo	Ventiladores	Ventiladores	Ventiladores
Cantidad	4	4	4
Potencia (kW).	4.5	4.5	4.5
Horas de trabajo	24	24	24

En la tabla16 se muestra una comparación entre los consumos de potencia en las condiciones actuales, según la propuesta y su influencia en el consumo de potencia por capacidad de refrigeración.

Tabla 16. Comparación entre los consumos de potencia.

Equipo consumidores kW.	Condiciones actuales kW.	Condiciones propuestas kW.
Motocompresor	190	131
Agitador	7	7
Bomba de agua del banco	30	30
Bomba de agua del Condensador	30	0
Bomba de amoníaco	1,5	1,5
Condensador evaporativo	17,8	17,8
Ventiladores de los difusores	13,5	13,5
Total de consumo	289,8	200,8
Capacidad de refrigeración	613,486 174,78 TR	503,580 143,47 TR
kW/kW	0,47	0,39
kW/TR	1,65	1,39

El término TR se refiere a la unidad de medida toneladas de refrigeración y como se aprecia en la tabla 16 en las nuevas propuestas se logra disminuir la potencia instalada por toneladas de refrigeración en 0,26 kW/TR. Para este establecimiento trabajando 20 horas diarias durante un año representaría un ahorro de 649 700 kWh, a un costo de 0,13 centavos el kW significaría un ahorro de \$ 84 461. CUP.

3.3.2. Impacto ambiental

Por impacto ambiental se comprende el efecto que produce una determinada acción humana sobre el medio ambiente en sus distintos aspectos. El concepto puede extenderse, con poca utilidad, a los efectos de un fenómeno natural catastrófico. Técnicamente, es la alteración de la línea de base, debido a eventos naturales.

El impacto ambiental también es conocido como lo que más afecta a nuestro planeta en estos momentos.

Las acciones humanas, motivadas por la consecución de diversos fines, provocan efectos colaterales sobre el medio natural o social. Mientras los efectos perseguidos suelen ser positivos, al menos para quienes promueven la actuación, los efectos secundarios pueden ser positivos y, más a menudo, negativos.

La refrigeración industrial y su impacto desfavorable sobre el medio ambiente.

En Cuba la refrigeración industrial está compuesta en mayor medida por instalaciones de frigoríficos, la mayoría de las cuales funcionan con amoníaco como refrigerante principal.

Los refrigerantes deben cumplir una serie de propiedades, cumpliendo el amoníaco con casi todas ellas, pero una de las que más pudiera limitar su uso es su toxicidad y que es algo inflamable y explosivo bajo ciertas condiciones.

El amoníaco a estado en el liderazgo de las avances de tecnología en refrigeración, siendo parte esencial del procesamiento, almacenamiento y logística de distribución de los alimentos.

Uno de los aspectos más importantes en los frigoríficos que emplean amoníaco es cuando se producen fugas ya que se liberan al ambiente grandes cantidades de gas en concentraciones que presentan riesgos de intoxicación, incendio y explosión, las cuales pueden afectar tanto al personal de la planta como al público cercano a esta.

Entre las principales causas de fugas son rupturas de sellos, fallas estructurales y sobrellenadas de estanques, ruptura cañerías por falla de diseño o golpes y fallas de válvulas.

El amoníaco no daña la capa de ozono, es un refrigerante natural. No es un compuesto holocarbonado como mucho de los refrigerantes sintéticos en el mercado, por lo tanto es un sustituto aceptable de esas sustancias.

Los efectos negativos que puede causar el amoníaco al ambiente es producir cambios en el pH de los sistemas ecológicos acuosas en caso de contaminación del mismo.

La Temperatura de incendio del amoníaco puro es difícil de encender debido a que su temperatura de incendio es muy alta (630 °C) y tiene un rango de inflamabilidad muy estrecho, puede arder pero no se enciende con facilidad. El amoníaco es inflamable solo a muy altas concentraciones y bajo condiciones extremadamente limitadas.

Las plantas de refrigeración se han de montar de tal forma que permita su inspección desde todos los lados y se disponga de espacio suficiente para realizar las tareas de mantenimiento.

No existe ningún tipo de control en aquellos procesos que generan contaminación como tampoco se efectúan y registran las mediciones de contaminantes.

La propuesta de enfriamiento de las cámaras de conservación de leche y queso a partir del agua helada consideramos menos riesgos en la conservación de productos ya que el líquido vital es confiable y fácil su tratamiento con esto disminuyendo el uso del amoníaco como refrigerante, por tanto la reducción del impacto ambiental.

Ahorro de energía eléctrica

En Cuba la electricidad se genera en plantas termoeléctricas en las que se queman petróleo crudo nacional, el principal beneficio es contribuir al desarrollo del país. Al ahorrar energía eléctrica se dejan de quemar combustibles fósiles en las centrales termoeléctricas. Los combustibles fósiles son recursos no renovables que se agotarán en las próximas décadas, aproximadamente 277 g de petróleo se necesita quemar para generar cada kilowatt-hora, al disminuir el consumo eléctrico se obtiene un beneficio económico, pues extraer o importar esos combustibles fósiles cuesta divisas al país, lo que hace que el costo por kilowatt-hora (kWh) genera elevación de costos. Al ahorrar energía eléctrica se obtiene también un beneficio ambiental, pues se dejan de emitir sustancias contaminantes al medio ambiente. Cuando se quema una tonelada de petróleo se emiten a la

atmósfera ocho toneladas de dióxido de carbono, el principal gas causante del sobrecalentamiento global, con su secuela de modificaciones climatológicas a nivel planetario. En nuestra área geográfica estas alteraciones adversas se manifiestan en una mayor intensidad de las tormentas tropicales, así como intensas sequías. Ahorrar energía eléctrica nos permite disponer de esa energía para satisfacer otras necesidades.

Conclusiones

1. Se logró determinar 763 540,6 W que es la cantidad de calor que debe ser extraída o eliminada en la línea de leche por el sistema de refrigeración obteniéndose sus parámetros de funcionamiento bajo las condiciones actuales, lo que permitió comparar estos valores con los ya existentes.
2. Mediante el cálculo de la ganancia de calor en el banco de agua helada en las condiciones actuales se demostró que 297 482,2 W es la cantidad de calor que debe ganar el banco de agua para poder emplear este refrigerante secundario (agua fría) en otros lugares de la instalación.
3. Dentro de las posibilidades de empleo del agua fría se encuentra las tres neveras de este sistema de refrigeración ya que su carga térmica puede ser evacuada por esta sustancia de trabajo.
4. El empleo del agua fría en neveras así como la disminución de la presión de condensación representarían una disminución de la potencia instalada por toneladas de refrigeración en 0,26 kW/TR.

Recomendaciones

1. El Combinado Lácteo de Pinar del Río debe valorar las propuestas realizadas en esta investigación para su posible ejecución.
2. Mejorar el aislamiento térmico de la instalación, que incluye el techo del banco de agua helada (anexo 4).

BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía referenciada

1. ASHRAE Guide and Data Book, Fundamentals and Equipment for 1965-1966. From the Danfoss Journal.
2. CA, IRC, Manual de Eficiencia Energética en refrigeración y climatización, La Habana, 2005.
3. Castro Chagas, Proyecto de Construcción de Cámaras Frigoríficas LTC. Sao Paulo, 2003
4. Colectivo de autores (IRC), Guía Energética para la refrigeración y la climatización, La Habana 2007.
5. FaHeidy Rodríguez, Diplomado sobre cálculo de carga térmica en cámaras frigoríficas, IRC. Cuba, 2007.
6. Firminio Marques José Manuel, "Ingeniería Eléctrica en un Sistema de Refrigeración Industrial", Informe Técnico, Ecuador, 1999.
7. Gómez Guillermo, "Nuevos sistemas de frigoríficos ecológicos con enfriadores de contacto directo", Boletín electrónico "NOTIFRÍO", Boletín No: 6: 2005.
8. <http://es.wikipedia.org>, consultado el 20-12-09.
9. <http://www.caloryfrio.com/el-saber-hacer-/aire-acondicionado/sistema-de-refrigeracion-por-compresion.html>, consultado el 12-12-09.
10. <http://www.caloryfrio.com/index.php/200712282796/aire-condicionado/bomba-de-calor-reversible/sistemas-de-refrigeracion.html>, consultado el 11-12-2009.
11. <http://monografias.com/trabajos/termodinamica/termodinamica.shtml>,
12. <http://www.monografias.com/trabajos6/meti/meti/.shtml>, consultado el 23-12-09.
13. <http://www.monografias.com/trabajos56/planta-de-leche/planta-de-leche.shtml#intro>, consultado el 09-12-2009.
14. <http://www.monografias.com/trabajos/11/presi/presi.shtml>, consultado el 11-12-2009.
15. <http://www.refrigeracionindustrial.com/cgi-bin>, consultado el 23-12-09.
16. Iglesias M., Refrigeración, Editora Pueblo y Educación, La Habana, 2005.

17. Krasnoschiokov E.A. "Problemas de termotransferencia" Editorial Mir. Moscú, 1986.
18. Manual del fabricante Mayekawa Mfg. Co., Ltd.
19. Software Refrigeration Utilities versión 2.8.
20. Stoecker, W. F. Refrigeración y acondicionamiento de aire. Edición Revolucionaria. La Habana. 1987.

Bibliografía consultada

1. Alco Controls, "Refrigeration and Air Conditioning Flow Controls Catalog 27A", TCL (E) Extended Capacity in Tons, pg 44, 2002.
2. Aleixandre Benavent J. L., "procesos de Elaboración de Alimentos", Editorial Servicio de Comunicaciones. Valencia. 1996.
3. Bustamante Poblete J. J., Ingeniero de ejecución en Refrigeración, Calefacción y Aire Acondicionado. Central de Servicios Técnicos de Fensa Mademsa.
4. Cipriano Armando R. H. Ingeniero de Ejecución en Calefacción Refrigeración y Aire Acondicionado. Empresario. Cámara Chilena de Refrigeración y Aire Acondicionado y Ditar.
5. Catálogos de selección de equipos de refrigeración. Condensadores evaporativos Baltimor Aircoil. Series CXV.
6. Contreras Carrasco R. D., Técnico Mecánico de Máquinas Nivel Superior con sub. Especialidad en refrigeración Técnico Mecánico de Nivel Superior. "Técnico nivel superior mecánico de máquinas". Armada de Chile. Viña del Mar.
7. Frank, M., "HFC-134a Refrigerant Plant Conversion Evaluation" Carderock Division Naval Surface Warfare Center Report, CDNSWC Itr 9516, Ser 9213/180, 2 November 1994.
8. Frank, M., "Shipboard Reciprocating Compressor Refrigeration Plant Alternative Refrigerant (HFC-134a) Technical Evaluation Final Report", CDNSWC Itr 9516, Ser 9213/059, 25 May 1995.
9. Gallagher J., Mc Linden M., Morrison G., Huber M., and Ely J., "NIST Thermodynamic Properties of Refrigerant Mixtures REFPROP", Version 3.04.
10. Gómez Morales E. A., Ingeniero de Ejecución en Calefacción Refrigeración y Aire Acondicionado. Técnico en Instalaciones Eléctricas. Centro de Formación Técnica Lota Arauco. (Dependiente de la Universidad de Concepción).
11. http://www.aczelamoniaco.com/index.php?pagina_id=2, consultado el 23-12-09
12. <http://www.bellmor.com.ar/pdf/ashrae.pdf>, cosultado el 23-12-09

13. <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia33/HTML/articulo03.htm>, consultado el 03-01-10.
14. <http://esiatecamachalco.foroactivo.com/tu-primer-foro-f1/sistemas-de-acondicionamiento-de-aire-t110.htm#top>, consultado el 08-01-10
15. <http://es.libros.redsauce.net/index.php?folderID=8>, consultado el 15-01-10.
16. <http://html.rincondelvago.com/plantas-de-refrigeracion.html>, consultado el 25-02-10.
17. http://www.ibnorca.org/02_norm/Normas_CP25/APNB73009.pdf, consultado el 01-03-10.
18. <http://www.upadi.com/anais2008/amoniacoyma.pdf>, consultado el 03-02-10
19. http://www.yes.krones.com/downloads/Shield_s.pdf, consultado el 25-02-10.
20. Kitchen G., "Air Conditioning Improvement Program Advisory Number Twenty Five/ Fluorescent Dye Refrigeration Leak Detection System", Message 060348Z November 1995.
21. Knowles, E., "Shipboard Mid-size Reciprocating Compressor Air Conditioning Plant Alternative Refrigerant (HFC-134a) Technical Evaluation", CDNSWC Itr 9512 Ser 9213/063, 17 May 1999.
22. León Cisternas H. G. Ingeniero Civil de Industrias con diploma en Ingeniería Química. CÁMARA CHILENA DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO Y DITAR.
23. NC 216:2002. Refrigeración-términos y definiciones.
24. Pérez, Ricardo " Diplomado sobre Refrigeración y Climatización, IRC, Cuba, 2008.
25. Powell, M.J.D., Restart procedures for the conjugate gradient method, Mathematical Programming, (1977).
26. Reciprocating tipo refrigeration compresor operation manual.
27. Rivera Díaz O. A., Técnico de Nivel Superior en Mecánica de maquinaria Naval. Especialista en Refrigeración. Instructor y Profesor Militar. Armada de Chile. Viña del Mar.
28. Rojas Sandoval J., Técnico en Refrigeración Industrial. INACAP. Empresario dueño de Fío Rojas.

29. Saldivia Flores M. A., Técnico en Electromecánica. Central de servicios Técnicos de Fensa Mademsa.
30. The Montreal Protocol on Substances That Deplete the Ozone Layer, 1987. ["Protection of Stratospheric Ozone; Final Rule", 40 CFR Part 82, July 30, 1992.

ANEXOS

Anexo 1. Banco de agua helada del sistema de refrigeración de la línea de leche.



Anexo 2. Motocompresor instalado en el sistema de refrigeración de la línea de leche.



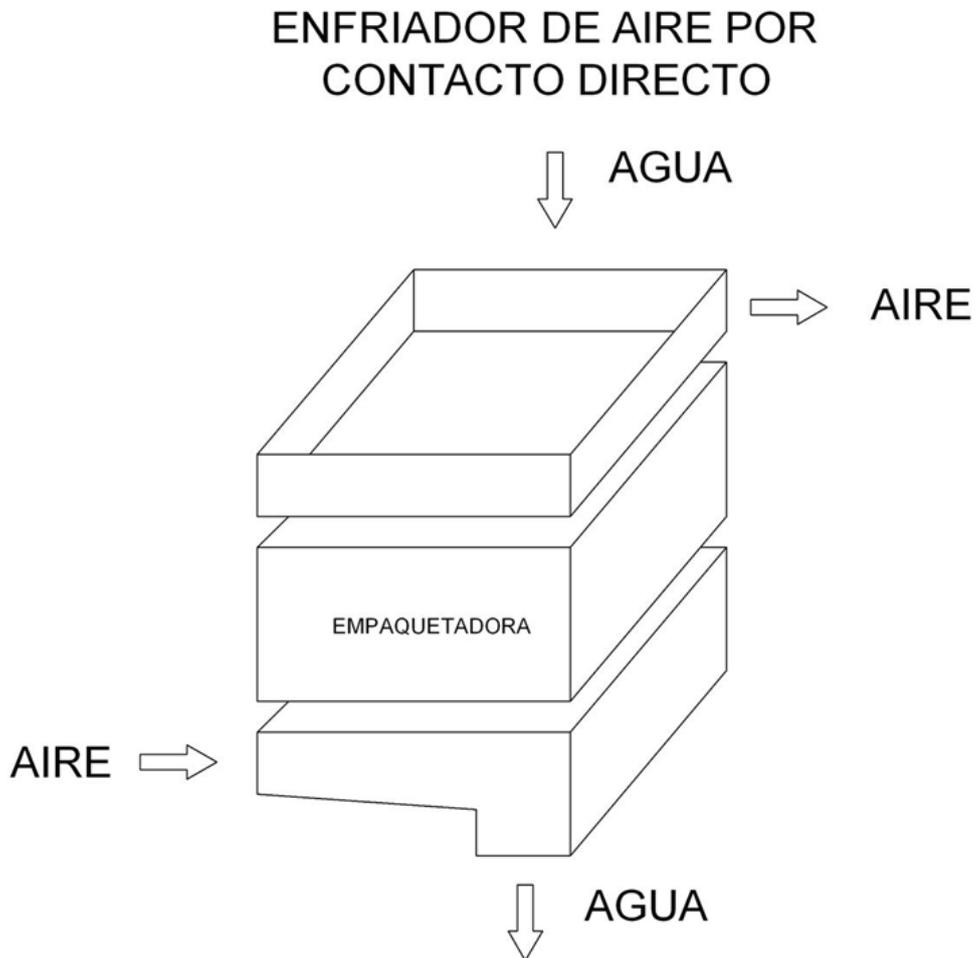
Anexo 3. Condensador evaporativo del sistema de refrigeración de la línea de leche de leche.



Anexo 4. Aislamientos térmicos deteriorados en las tuberías y techo del banco de agua helada del sistema de refrigeración en la línea de leche, respectivamente.



Anexo 5. Esquema de la propuesta de enfriador de agua por contacto directo a utilizar en el país.



Anexo 6. Esquema del enfriador por contacto directo promovido por Mayekawa (boletín Notifrio).

