



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA

“Dr. Antonio Núñez Jiménez”

FACULTAD METALURGIA ELECTROMECAÁNICA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

EVALUACIÓN DE LA CARGA TÉRMICA DE REFRIGERACIÓN DE LA UEB # 4 COMBINADO LÁCTEO DE MOA “El Vaquerito” Y SU INCIDENCIA EN EL CONSUMO ENERGÉTICO.

Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Mecánico

Autor: Pedro Aldana Bauta

Moa, 2016



INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA

“Dr. Antonio Núñez Jiménez”

FACULTAD METALURGIA ELECTROMECAÁNICA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

EVALUACIÓN DE LA CARGA TÉRMICA DE REFRIGERACIÓN DE LA UEB # 4 COMBINADO LÁCTEO DE MOA “El Vaquerito” Y SU INCIDENCIA EN EL CONSUMO ENERGÉTICO.

Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Mecánico

Autor: Pedro Aldana Bauta

Tutor: Prof. Aux. Ing. Ever Góngora Leyva, Dr. C.

Prof. Inst. Ing. Yorlandis Olivero Blanco, Ms. C.

Moa, 2016



DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo: Pedro Aldana Bauta

Autor de este trabajo de diploma, certifico su propiedad intelectual a favor del I.S.M.M. de Moa, el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

Autor

Pedro Aldana Bauta

Tutor

Dr. C. Ever Góngora Leyva

Tutor

Ms. C. Yorlandis Olivero Blanco



DEDICATORIA

A mi madre, que ha sacrificado todos los aspectos de su vida para darme una educación y lograr todas mis aspiraciones, y muy especialmente por apoyarme en los momentos en que sé que la decepcioné.

A todos mis compañeros de cuarto con los cuales compartí durante toda la universidad la cual es unas de las grandes etapas de mi vida.

A Nelson Alba por toda la ayuda que me dio y por ser un amigo incondicional a la hora de ayudar, no solo a mi sino a todo el mundo.

Un agradecimiento a todo el grupo por ser un grupo muy unido a pesar de la diferencia de pensamiento.

A los profesores por la formación que me han dado principalmente a mi tutor Ever, el profesor Tomás, a Dayanis, a la profesora Olga, al profesor Héctor y al profesor Geovanis Ruiz.



Resumen

En el presente trabajo se realizó una evaluación de la carga térmica de la cámara de la UEB # 4 Combinado Lácteo de Moa "El Vaquerito" y su incidencia en el consumo energético. Para la realización de ésta se hizo una búsqueda bibliográfica de los principales trabajos que abordan el tema en cuestión. Se analizó la incidencia de los portadores energéticos en la empresa y se determinó que el más influyente es la electricidad la cual representa un 54,67 % del total de los portadores, además se hizo un diagnóstico energético de recorrido, dónde se detectaron los principales problemas que conducen al mal funcionamiento e ineficiencias en el proceso productivo, que tributan en gran medida a los elevados consumos de energía eléctrica en la instalación. Se determinaron los principales puestos claves en la cual se comprobó que el de mayor incidencia es la refrigeración con un consumo de energía de 1 963,87 kW/día lo que representa un 76 % del consumo total. Además se realizó la valoración económica y el análisis del impacto medioambiental, principalmente las causas de enfermedades por el uso del amoníaco y las medidas que se deben de tomar en la utilización de este producto.



Abstract

In the present paper was carried out a thermal evaluation of the chill room of the UEB Combinado Lácteo de Moa “El Vaquerito”, and its incidence in the energy consumption. For the realization of this work a bibliographical search of the main works was made that approach about the topic in question. The incidence of the energy payees was analyzed and it was determined that the one of but it influences it is the electricity which represents 54.67 % of the total of the payees, besides an energy diagnosis of journey it was made, with the objective of detecting the main problems that carry bad operation and inefficient in the productive process, that it pay in great measure to the high electric power consumptions in the installation. The main positions of energy consumption were determined in which was proven that of more consumption inside these was the refrigeration position with a consumption of 1 963.87 kW/day what represents 76 % of the total consumption. It was also carried out an economic valuation and analysis of the environmental impact, mainly causes of illnesses for the use of the ammonia and the measures that should take in the use of this product.



Índice

Introducción.....	1
1.1 Introducción.....	4
1.2 Estado del arte	4
1.3 Gestión energética	11
1.3.1 Análisis energético.....	12
1.4 Caracterización de la empresa.....	14
1.5 Conclusiones del capítulo 1	19
CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS	20
2.1 Introducción.....	20
2.2 Método general de cálculo de carga térmica.....	21
2.2.1 Carga de transmisión de calor	21
2.2.2 Carga de infiltración	24
2.2.3 Carga del producto	27
2.2.4 Carga miscelánea.....	29
2.2.5 Factor de seguridad y carga horaria	31
2.3 Análisis de los costos	32
Materiales auxiliares:.....	34
Energía Eléctrica:	36
Agua:.....	37
Salarios:	37
Gastos varios	38
Cálculo del costo de producción de frío	40
2.4 Cálculo de la carga térmica del banco de agua helada.....	40
2.5 Conclusiones del capítulo 2	45
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	46



3.1 Introducción	46
3.2 Análisis de los resultados del cálculo de la carga térmica.....	46
3.3 Análisis de los resultados de los costos	48
3.4 Conclusiones del Capítulo 3.....	49
Conclusiones generales	50
Recomendaciones.....	51
Bibliografía.....	52
Anexos	54



Introducción

No existe duda alguna que la energía es la fuerza que mueve al mundo de la industria y para hacer un uso más racional de la misma, en Cuba se han llevado a cabo vigentes esfuerzos encaminados a elevar la eficiencia de los procesos productivos de las diferentes ramas industriales, con vista a alcanzar los más altos rendimientos económicos.

La industria de la refrigeración cada día se extiende más y encuentra múltiples aplicaciones. Hoy en día la refrigeración es esencial en la producción, conservación y distribución de alimentos, en la climatización y en el funcionamiento eficiente de la industria.

En los momentos actuales en que la economía cubana se encuentra inmersa en el programa de ahorro de la energía, de los costos que se asocian a la misma y las inversiones que se realizan en equipos eléctricos destinados a la instalaciones industriales y de servicio.

El ahorro de energía reviste una gran trascendencia para todos los países y muy en especial para aquellos en vías de desarrollo, para establecer una adecuada política encaminada al uso racional de los portadores energéticos resulta necesario conocer los índices de consumo.

La industria de la refrigeración utilizada en la conservación y congelación de alimentos cada día se expande más por sus características y requerimientos energéticos. En los momentos actuales este proceso es empleado en diversas formas, como:

- Preparación de alimentos.
 - Productos lácteos.
 - Envasado de carnes, pescado y volatería.
- Bebidas y confituras.
- Almacenamiento y distribución de alimentos.
- Usos de la refrigeración en industrias químicas y procesos industriales.



- Usos especiales de la refrigeración.
- Aire acondicionado (confort humano; hogares).
- Aire acondicionado industrial.

Situación problemática:

De investigaciones y trabajos realizados en años anteriores se ha comprobado que existe un elevado consumo de energía, manifestándose en los portadores energéticos de la empresa, entre que se encuentran el combustible, la electricidad, el vapor y el agua.

- _ Los puestos claves con mayores consumos son las áreas de refrigeración con 1 963,87 kW·h/día y helado con 297,96 kW·h/día
- _ Deficiente insulación en el sistema de compresión y transporte del amoníaco, así como también en el sistema de enfriamiento del yogurt.
- _ Mal estado de las puertas de las neveras de helado.
- _ El volumen de las cámaras frías para yogurt y helado no está acorde con los volúmenes de producción actual y la carga térmica instalada.

Todas estas problemáticas imponen la necesidad de realizar una evaluación del consumo energético por concepto de refrigeración en las instalaciones del combinado lácteo de Moa, aspecto que ha dado origen al presente trabajo.

A partir de los elementos antes mencionados se declara como **problema**:

Las teorías existentes aun no fundamentan el comportamiento de la carga térmica requerida en la instalación de refrigeración por amoníaco del combinado lácteo de Moa.

Como **objeto** de estudio de la investigación se plantea:

La instalación de refrigeración por amoníaco del combinado lácteo de Moa.

Sobre la base del problema a resolver se establece la siguiente **hipótesis**:

Luego de establecido el cálculo térmico verificativo de la instalación donde se considere la carga térmica, la eficiencia del ciclo, se puede conocer la demanda de frío necesaria para poner en funcionamiento la línea de fabricación de helado y la



capacidad frigorífica del banco de agua helada y las cámaras de conservación modificada.

En correspondencia con la hipótesis planteada, se define como **objetivo** del trabajo:

Determinar la capacidad térmica y la eficiencia del ciclo en las cámaras de conservación en correspondencia con la demanda de frío necesaria para las condiciones actuales de la instalación modificada.

Objetivos específicos

1. Caracterizar el proceso de refrigeración por amoníaco en correspondencia con la demanda de frío necesaria para la congelación de diferentes productos.
2. Establecer el procedimiento metodológico para la determinación de la carga térmica y la eficiencia del ciclo según la demanda de frío necesaria para poner en funcionamiento la línea de fabricación de helado y la capacidad frigorífica del banco de agua helada y las cámaras de conservación modificada.
3. Fundamentación de los resultados derivados de los cálculos relacionados con la carga térmica y la eficiencia del ciclo de refrigeración del combinado lácteo de Moa.

Para lograr el cumplimiento del objetivo propuesto, se plantean las siguientes **tareas** de trabajo:

- Establecimiento del estado del arte relacionado con el objeto de estudio,
 - Caracterización de la instalación a partir de la capacidad térmica y la eficiencia del ciclo teniendo en correspondencia con las especificaciones técnicas para la refrigeración.
4. Establecimiento del procedimiento de cálculo para la estimación de la carga térmica y la eficiencia del ciclo de refrigeración del combinado lácteo de Moa.
 5. Realización del balance energético para evaluación de las pérdidas en cada componente de la instalación.
 6. Planteamiento de los efectos económicos, sociales y ambientales relacionados con los procesos de emanación del amoníaco.

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO- METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción

Refrigerar consiste en conseguir una temperatura más baja que la del medio ambiente inmediato. En cualquier sistema práctico de refrigeración, el mantenimiento de la baja temperatura requiere la extracción de calor del cuerpo a refrigerar a baja temperatura, y la cesión de este calor a una temperatura más alta.

Desde el punto de vista energético los frigoríficos industriales están catalogado como grandes consumidores energía, fundamentalmente eléctrica. En el contexto cubano esto representa una parte importante de la demanda eléctrica del sector industrial, y son temas a tratar en los estudios de política energética.

La cadena del frío reviste un gran interés dentro de la evolución industrial a que obliga la continua mejora del nivel de vida de la humanidad. Los frigoríficos juegan un rol fundamental en esta cadena de frío ya que constituyen el intermedio por excelencia entre las ventas mayorista, minorista y la explotación

Este capítulo tiene como **objetivo**: realizar el análisis de la bibliografía existente que permita establecer el estado del arte en la temática abordada y sustentar los resultados alcanzados en la investigación

1.2 Estado del arte

En este trabajo se presentarán una serie de temas dónde se expone las particularidades de los elementos principales que componen la tecnología de gestión, para lograr la eficiencia energética, a través de una continua aplicación de medidas y proyectos de ahorro de energía.

La fuente de energía más barata es la eficiencia energética, sabiendo que es generalmente en el equipo, Dónde se producen las pérdidas. El problema fundamental para explotarla lo constituye la determinación del lugar Dónde éstas se producen, su evaluación en cantidad y calidad, la identificación de las causas que la producen, las vías que conducen a su reducción o eliminación, la evaluación del costo-beneficio de cada una de estas vías, el seguimiento de la aplicación de la decisión adoptada y su control, así como, la valoración técnico-económica final del proceso (Viego, 2007).

En cada uno de estos elementos imprescindibles para lograr y hacer permanentes los avances en la eficiencia energética; existen tecnologías bien definidas que se desarrollan y perfeccionan con el avance científico-técnico. La realización inadecuada o incompleta de alguna parte de este diagnóstico puede llevar a una explotación ineficiente de la fuente, y el desaprovechamiento de potenciales.

La eficiencia energética a pesar de ser una de las alternativas menos costosa y menos contaminante de todas, se convierte en una fuente no agotable y aplicable a todo tipo de empresas.

En la actualidad otras entidades pasteurizadoras han sido objeto de estudios en materia de eficiencia energética, arrojando resultados relevantes en el ahorro de portadores energéticos, implementando medidas para lograr el aumento de la eficiencia y la productividad; ejemplo de ello lo constituye el estudio de eficiencia energética realizado en el Combinado Lácteo “Rafael Freire Torres” de Holguín (Sánchez, 2003).

En el estudio realizado por el autor antes mencionado se logró establecer una relación entre el rol de la eficiencia energética y la competitividad, por otra parte infiere que al mejorar la calidad, aumenta la productividad, y la competitividad en calidad y precio. También plantea que la eficiencia energética en la competitividad de la empresa debe observarse de dos formas: como un elemento independiente que actúa directamente en el costo del producto o servicio, y como un paso de mejora de la calidad que disminuye los costos.

En sentido general y a raíz de los resultados de diagnóstico energético (Sánchez, 2003), se lograron implantar medidas que llevarán al sistema a funcionar con una eficiencia óptima. Se destacaron las debilidades, así como, las potencialidades tanto en el personal que trabaja en la entidad como en los puestos de trabajo.

Como seguimiento a los estudios realizados en entidades similares se tiene el estudio que se llevó a cabo en el Combinado de Helados y Quesos de la provincia de Granma, en el cual se dieron a la tarea de optimizar los consumos de portadores energéticos frente al impacto de la actual crisis económico-financiera en Cuba.



Entre las múltiples medidas adoptadas por el combinado están la paralización durante dos horas en el horario pico de los agitadores de los tanques de envejecimiento de la mezcla del helado, lo cual no perjudica la calidad del producto logrando un ahorro de 6 MW·h al mes, así como la puesta en funcionamiento de las calderas en el momento específico que cada área necesite y solicite el vapor.

Otra de las medidas adoptadas en el combinado de Granma fue la sustitución de las esteras eléctricas por manuales, con un sistema de rodillos, las que se utilizan para llevar los cubos de helado del departamento de elaboración hasta la nevera. Con estas soluciones el establecimiento ahorra cerca de 11 MW·h al mes, como también lo son 0,3 MW·h que dejan de gastarse con el uso de la gatera, una puerta pequeña de un metro cuadrado por dónde extraen los galones de helado de la nevera. Tal operación se hacía abriendo la puerta grande de la nevera de alrededor de seis metros cuadrados por dónde se escapaba mayor cantidad de frío. El programa de ahorro implementado en el combinado bayamés le permitirá aprovechar 97.6 MW·h al mes.

A raíz de lo antes expuesto en América Latina y el Caribe, la OLADE (Organización Latinoamericana de Energía) considera, que mediante el uso eficiente de la energía podría reducirse el consumo de portadores energéticos de la región entre el 10 y 20 % en corto y mediano plazo (Sánchez, 2003).

Como plantea en Cuba la Comisión Internacional de Energía consideró, que por esta vía con inversiones menores y de rápida recuperación (menores de 1,5 años) se logrará un ahorro anual del 5 % del consumo del país. Más del 45 % de este ahorro se obtendría en el sector residencial y de servicios, y casi un 10 % en el transporte.

Se estima que en la industria cubana, las actividades con mayores potenciales son: el níquel, el cemento, el acero, la generación eléctrica, la refinación de petróleo, y en menor medida las industrias alimenticias y el papel. En todas ellas las medidas en lo fundamental se dirigen a elevar la disciplina tecnológica, mejoras técnicas y técnico-organizativas, aprovechamiento del vapor residual,

sustitución por combustibles económicamente más ventajosos, mejoras en la combustión y automatización de los controles (Borroto, 2006).

Usar eficientemente la energía significa no emplearla en actividades innecesarias, así como conseguir hacer las tareas con el mínimo consumo de energía posible. Desarrollar tecnologías para el sistema de vida y trabajo que ahorren energía, es lo más importante para lograr un auténtico desarrollo que se pueda llamar sostenible. (Viego, 2007).

Según Alfaro *et al.* (2002), como resultado de un análisis de alternativas proponen tres tecnologías para el tratamiento de los residuales del Combinado Lácteo de Santiago, para obtener esta propuesta realizaron el análisis económico, obteniendo la mejor posibilidad para el tratamiento de los residuales líquidos de la fábrica. El sistema propuesto por los autores antes mencionados incluye procesos de homogeneización, digestión, lagunas de algas de alto rendimiento y sedimentación. Luego de los procesos se obtiene como resultado agua tratada que puede ser vertida al medio u otros usos, y lodos que pueden emplearse como acondicionadores del suelo.

Según Gandón *et al.* (2003), para evaluar los índices energéticos en una planta de productos lácteos, es necesario elaborar cronogramas de los consumos de vapor y energía eléctrica en las líneas tecnológicas de leche, yogurt y crema, lo que permitió la caracterización de los procesos. Los autores determinaron la cantidad de combustible y energía eléctrica técnicamente requeridos y se establecieron las recomendaciones para disminuir los mismos.

Como una de las conclusiones se planteó que el consumo de combustible técnicamente requerido representa el 79 % del empleado en la planta, en las condiciones de operación actual. Esta discrepancia entre los consumos de combustible real y técnicamente requerido puede estar motivada por la baja eficiencia de la caldera, el inadecuado control del uso del vapor en el proceso, el mal estado técnico de las válvulas y el diseño ineficiente de algunos equipos de intercambio de calor.



La Gestión Energética va encaminada a lograr un uso más racional de la energía, que permita reducir el consumo de la misma sin perjuicios del confort, productividad, calidad de los servicios, esto sin deteriorar el nivel de vida. Puede considerarse como el mejor de los caminos para conseguir los objetivos de ahorro de energía ya sea desde el punto de vista de la propia empresa como a nivel nacional (Mendoza, 2006).

En la medida en que la situación energética se deteriora, se hace sentir la necesidad de que la energía sea considerada como un factor de costo que requiere especial atención. Durante años los precios de la producción de energía se han duplicado debido a que el mundo se ha ido desarrollando y también se ha incrementado la demanda en varios sectores industriales y de servicios.

En la implementación de una Gestión Energética suelen presentarse una serie de dificultades que pueden ser en general, la insuficiente especialización del personal técnico, y la falta de conciencia de ahorro. Es de vital importancia que técnicos y operarios desarrollen un nivel de pertenencia del trabajo a realizar, así como aptitudes encaminadas a la búsqueda y puesta en práctica de nuevas soluciones, y un buen nivel de conocimiento de estos para una satisfactoria asimilación de la tecnología (Sánchez, 2003).

Una vez consultada la bibliografía relacionada con las potencialidades del ahorro energético en las industrias lácteas se procedió al estudio de la bibliografía relacionada con los sistemas de refrigeración y su situación actual.

La refrigeración se aplica en gran escala en las industrias químicas y en los procesos industriales. Estas industrias necesitan indudablemente un cuidadoso proyecto de ingeniería, ya que cada instalación es diferente y, por otra parte, el costo de la instalación es muy alto.

Según Mendoza (2006), la refrigeración por compresión se logra evaporando un fluido refrigerante a través de un dispositivo de expansión dentro de un intercambiador de calor, conocido como evaporador, el cual permite una transferencia térmica con su entorno. Al evaporarse el fluido líquido cambia su estado a vapor. Durante el cambio de estado el refrigerante en estado de vapor



absorbe energía térmica del medio en contacto con el evaporador, bien sea este medio gaseoso o líquido.

Luego del intercambio energético, un compresor mecánico se encarga de aumentar la presión del vapor para poder condensarlo dentro de otro intercambiador de calor conocido como condensador y hacerlo líquido de nuevo. Ya que este aumento de presión además produce un aumento en su temperatura, para lograr el cambio de estado del fluido refrigerante es necesario enfriarlo al interior del condensador; esto suele hacerse por medio de aire y/o agua. De esta manera, el refrigerante en estado líquido, puede evaporarse nuevamente a través de la válvula de expansión, y repetir el ciclo de refrigeración por compresión.

Bautista (2000), construye un modelo matemático general del ciclo de refrigeración mediante la termodinámica del tiempo finito desarrollada para los modelos de ciclos endorreversibles de tres depósitos. La fórmula óptima establecida se puede usar para discutir el efecto de fuentes de calor finitas y resistencias térmicas sobre la operación del ciclo.

Reindl (2003), repasa los tipos de gases incondensables que se pueden acumular en los sistemas, sus consecuencias, las operaciones de purga, así como otros aspectos y factores que influyen en la eficiencia de las purgas, demostrando que en los condensadores no se puede mitigar la diferencia de presión. La imposibilidad de conseguir “presiones de condensación fluctuantes” tendrá implicaciones energéticas anuales significativas.

Ovidio (2003), describe un mejoramiento considerable a la tecnología clásica de absorción de amoníaco en agua, la cual requiere de temperaturas altas de calentamiento (120 a 150 °C) que lo excluyen del uso en combinación con colectores solares planos (para agua), aquí se plantea una nueva variante, que permite hacer funcionar este sistema a temperaturas de calentamiento entre 70 a 90 °C y permite ahorrar energía eléctrica además de contaminar muy poco el medio ambiente.

Guerra (2005), realizó un análisis de la planta de fabricación de hielo del Municipio de Moa. Este autor realizó una caracterización de la instalación, la exposición de

los aspectos más significativos de la fabricación de hielo en bloque, y las condiciones en que se encuentran las industrias de fabricación del hielo en Cuba. Prosiguió con el análisis crítico de la instalación, mostrando así los aspectos más importantes que se han tenido en cuenta en la evaluación y su situación en dicha planta. Por otra parte se hace una breve descripción de los equipos principales de la planta y su propuesta de mantenimiento para cada caso.

Restrepo *et al.* (2007) para obtener la mayor capacidad y la mayor economía de operaciones en un frigorífico es de importancia que el sistema de refrigeración opere a las presiones de succión más altas posibles. Es esencial que la temperatura del gas que regresa al compresor esté a una temperatura mínima de 9,5 °C por encima de la temperatura de evaporación, para evitar el flujo de refrigerante líquido al compresor. Se deben aislar térmicamente las tuberías de admisión como forma de prevenir la escarcha y para rebajar el calor transmitido por las tuberías, y reducir la temperatura a la entrada del compresor. Se deben usar motores de alta eficiencia ya que mejorar la eficiencia de los motores representa una reducción de los costos de operaciones por el ahorro del consumo de energía eléctrica.

Según Castro (2001), las funciones que deben cumplir los lubricantes para compresores de refrigeración son los siguientes: sellar el mecanismo de compresión; reducir la fricción y el desgaste en las partes móviles del compresor; remover el calor generado en el proceso de compresión. Cumpliendo estas funciones correctamente los refrigerantes aumentan la vida útil de los sistemas, al evitar la corrosión y la herrumbre las que traen consigo pinchaduras en las tuberías y con esto la disminución de la eficiencia del sistema.

El autor antes referido también establece, que propiedades del lubricante para compresores de refrigeración deben ser la estabilidad térmica y química, la misma ayuda a que no hayan desgaste y otras fallas en el compresor; miscibilidad, esta se refiere a las características de solución líquido refrigerante con aceite; solubilidad y viscosidad, la composición del lubricante es diferente en las diversas partes de sistema de refrigeración; punto de fluidez y floculación.

Según Vian (2003), presenta un estudio comparativo de cargas térmicas con la utilización de un refrigerador doméstico, diseñado para uso de un refrigerante inflamable, Para poder comparar los consumos de energía en los refrigeradores domésticos, es necesario obtener previamente las condiciones de carga óptima del refrigerante, realizando barridos de carga en el equipo con cada compresor y los tres refrigerantes.

Garcés (2009), hace la propuesta de un Sistema para la Gestión Energética en la UEB # 4 Combinado Lácteo “El Vaquerito” de Moa, tomando como punto de partida el análisis de los consumos de portadores energéticos en la empresa y sus costos asociados. Estableció las reservas en el uso de la energía e implantaron medidas organizativas, y de inversión para elevar la eficiencia; se definió los principales puestos claves de consumo de energía, y se establecieron nuevos índices de consumo por producto. Se profundizó en el estudio del portador electricidad a partir del procesamiento de mediciones realizadas.

Como se ha podido observar la bibliografía consultada muestra, que son diversos los aspectos que influyen en la eficiencia energética de la industria láctea, es por ello que se requiere de un enfoque integral para la evaluación y solución de los problemas que en ella se manifiestan. Hasta la fecha (Garcés, 2009), es el autor que ha llevado a cabo un diagnóstico para la Gestión Energética en la UEB # 4 Combinado Lácteo “El Vaquerito” de Moa, identificando los puestos claves y las medidas organizativas con el objetivo de disminuir los consumos por portadores energéticos. Pero aún no detienen un criterio sólido de las reservas energéticas existentes en los sistemas de refrigeración, de ahí la importancia de este trabajo.

1.3 Gestión energética

Es un conjunto de acciones técnico-organizativas para administrar eficientemente la energía, que aplicadas de forma continua, con la filosofía de gestión total de la calidad, permiten establecer nuevos hábitos de dirección, control y evaluación del uso de la energía, dirigidos al aprovechamiento de todas las oportunidades de conservación de la energía y de reducción de sus costos.

El objetivo fundamental de la Gestión Energética es obtener el mayor rendimiento posible a las cantidades de energía que necesita. Dentro de esta idea el sistema de gestión habrá de responder a determinadas funciones, que tendrán que implementarse en relación con los servicios de la empresa. En un sentido más amplio puede ser la comprensión de la elección de las fuentes de energía, las negociaciones con los suministradores, y para el control de los suministros, almacenamiento y distribución. (Campos Avella, 1998).

1.3.1 Análisis energético

Es posible establecer dos tipos de análisis energético:

- De control de consumo.
- De auditoria o diagnóstico.

Lo primero que se necesita para establecer un plan de ahorro de energía es conocer cómo y cuánto se consume. Para ello es necesario implantar un sistema de contabilidad energética que permita conocer los consumos de cada portador energético existente en la empresa en cada una de las áreas de consumo. (Borroto, 2006).

Como segundo paso, es necesario como mínimo al final de cada trimestre determinar los valores reales del consumo específico de energía, lo que permitirá definir los sobreconsumos que se relacionan con deficiencias en la explotación del sistema de producción de frío, siendo necesario además determinar los excesos de energía eléctrica que se producen debido a un mal estado del aislamiento térmico de la construcción y ganancias de calor a través de puertas que permanecen abiertas más tiempo del debido, no tienen la suficiente hermeticidad, entre otras violaciones del régimen de explotación que se producen. Esto hace que se puedan establecer indicadores que relacionen el consumo de energía eléctrica no solo a la producción de frío, sino también a la cantidad de productos elaborados en dependencia de su tipo y del tratamiento térmico recibido.

Para conocer la situación energética de los diferentes equipos y operaciones básicas, es necesario realizar una auditoria energética con profundidad, entre



otras cosas nos permitirá conocer los consumos instantáneos, pérdidas, rendimiento, estado del equipamiento y las posibles medidas para mejorarlo.

La Gestión Empresarial incluye todas las actividades de la función gerencial que determinan la política, los objetivos y las responsabilidades de la organización; actividades que se ponen en práctica a través de: la planificación, el control, el aseguramiento, y el mejoramiento del sistema de la organización.

La Gestión Energética o Administración de Energía, como subsistema de la gestión empresarial abarca, en particular, las actividades de administración y aseguramiento de la función gerencial que le confieren a la entidad la aptitud para satisfacer eficientemente sus necesidades energéticas. Un sistema de gestión energética se compone de: la estructura organizacional, los procedimientos, los procesos y los recursos necesarios para su implementación.

Al aplicar un sistema de gestión energética se toman acciones encaminadas a reducir consumos energéticos por unidad de producto manufacturado, cumpliendo a su vez con los objetivos de calidad en el uso de la energía del sector industrial. (Campos, 1998), para ello se debe llevar a cabo una metodología de Gestión Energética.

1. Concientización acerca de la importancia que tiene la implementación de un sistema de gestión energética, por medio de charlas al personal de operarios y supervisores del área de producción.
2. Visita de reconocimiento para la familiarización con los sistemas equipos con los que cuenta la empresa.
3. Levantamiento de esquemas de funcionamiento de toda la planta de producción.
4. Caracterización energética de la empresa.
5. Censo de carga de los equipos que tiene el área de producción.
6. Monitoreo, evaluación y diagnóstico de los sistemas presentes en la empresa: Motores para el área de hidráulica, banco de condensadores, compresores, la tubería de aire comprimido, hornos, secadores, calentador de agua.



7. Identificación de los indicadores de control energético.
8. Establecimiento de normas y recomendaciones para prácticas operativas más eficientes.

Por las características de Cuba desde el punto de vista energético se hace necesario que siempre que sea posible la industria logre su autoabastecimiento mediante la cogeneración de energía eléctrica en función de disminuir el consumo del Sistema Electro energético Nacional. Esto en primer lugar propicia la confiabilidad del servicio eléctrico que garantice la continuidad de la producción y además posibilita disminuir los costos.

1.4 Caracterización de la empresa

La UEB # 4 Combinado Lácteo "El Vaquerito" se encuentra ubicado en el municipio de Moa, en la Avenida 7 de Diciembre. La misma cuenta con nueve edificaciones fundamentales, y otras que se encuentran dentro de su área. La empresa consta de una plantilla de 112 trabajadores, de los cuales 31 son mujeres y 81 hombres. Dentro de la misma existen 15 técnicos, 2 administrativos, 7 dirigentes, 75 obreros y 13 de servicios.

La UEB # 4 Combinado Lácteo de Moa "El Vaquerito" constituye un eslabón en el desarrollo económico del país, que en condición de mercado actual cobra una gran importancia tanto en su volumen como en su costo. Esta entidad tiene como objetivo fundamental la producción de productos lácteos derivado de la leche y la soya para satisfacer la necesidad de la población en general.

Como objetivos específicos se tienen:

- Producir, distribuir, y comercializar de forma mayorista leche en polvo, yogurt, helados, quesos, mezclas físicas alimenticias y otros productos lácteos en moneda nacional y convertible.
- Brindar servicios gastronómicos a los trabajadores de la entidad, y al sistema en moneda nacional.

- Efectuar la venta a trabajadores de las entidades del sistema de la industria alimenticia los excedentes de las producciones, y el autoconsumo de los productos lácteos, cárnicos y agrícolas en moneda nacional.

En el combinado lácteo de Moa se identifican dos esquemas tecnológicos que caracterizan las principales producciones elaboradas en esa instalación para el consumo de la población:

Esquema tecnológico para la producción yogurt de soya y leche saborizada

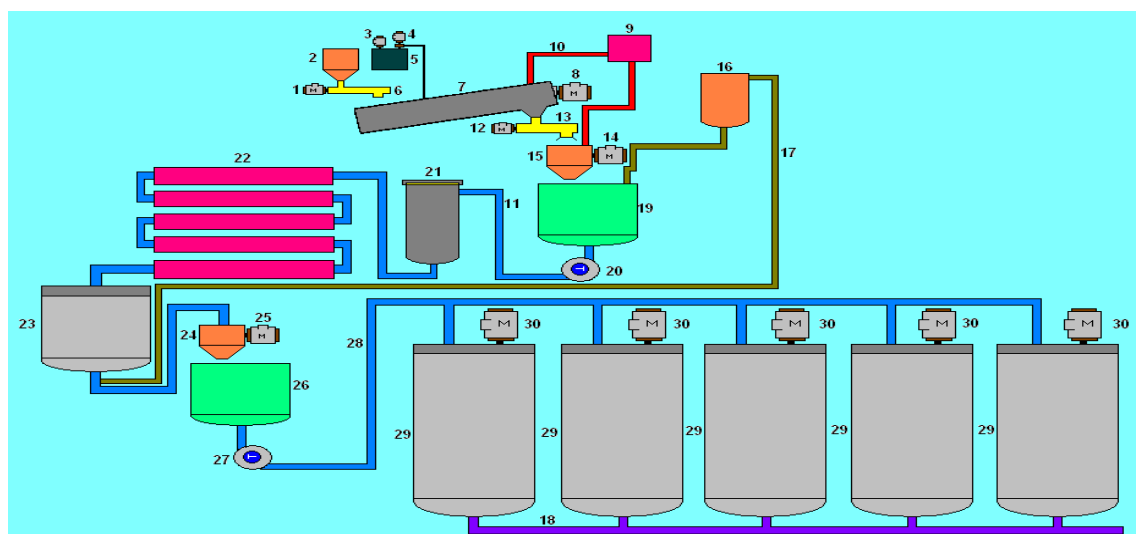


Figura 1.1 Esquema tecnológico para la producción de yogurt de soya y Leche Saborizada. Fuente: Garcés (2009).

Leyenda.

1. Motor del Dosificador # 1.
2. Tanque de recepción de la Soya.
3. Agitador del tanque de bicarbonato.
4. Bomba de bicarbonato.
5. Tanque de bicarbonato.
6. Dosificador # 1.
7. Sinfín.
8. Motor del sinfín.



9. Tanque de suministro de agua caliente.
10. Conductos de agua caliente.
11. Conductos de la Soya molida.
12. Motor del dosificador # 2.
13. Dosificador # 2.
14. Motor del molino # 1.
15. Molino # 1.
16. Tanque receptor de la soya cruda.
17. Conducto de recirculación de la soya cruda.
18. Conducto del producto terminado.
19. Tanque receptor del primer molinado de la soya.
20. Bomba neumática. (400 l/min.)
21. Calefactor.
22. Serpentín retenedor.
23. Tanque de flacheo.
24. Molino # 2.
25. Motor del molino # 2.
26. Tanque receptor del segundo molinado de la soya.
27. Bomba neumática. (400 l/min.)
28. Conducto de la soya para los tanques de producto terminado.
29. Tanques de producto terminado.
30. Agitadores. (1,2,3,4,5)

Para culminar el proceso de yogurt de soya el producto se bombea de la Línea Nueva hasta el área de producción en los tanques 4 y 5 para sufrir el siguiente proceso:

- _ A la leche estandarizada se le añade el azúcar en forma de sirope. El sirope se prepara añadiendo el azúcar al tanque, previamente pesada y se incorpora el 30 % de agua, esta se pasteuriza hasta 90 °C, y se le adiciona el color y sabor.
- _ La leche de soya con el azúcar debe tener entre 1.054 y 1.056 kg/l, se refresca hasta 42- 45°C, y se inocula con el cultivo industrial.
- _ Tiempo de coagulación de 2,3 a 3 horas, y acidez 0.34 %.
- _ Se enfría hasta 6 °C y se embolsa en la máquina embolsadora, Peso 936 g, Volumen 917 ±11 ml.

En esta línea de trabajo se obtiene mediante el molinado la leche de la soya para la producción de yogurt de soya, leche saborizada y queso cresol, para la producción del yogurt de soya y la leche saborizada se muele en una sola tanda.

Para el cálculo del Índice de Consumo de este producto como caso experimental se confirmo el tiempo que se necesitó para producir 10,5 t de yogurt de soya que fue de 8 horas y 30 minutos, y en esta misma línea también se producen aproximadamente 1 tonelada de leche saborizada en un tiempo de aproximadamente de 1 hora.

Esquema tecnológico para la producción de queso cresol, mantequilla y helado.

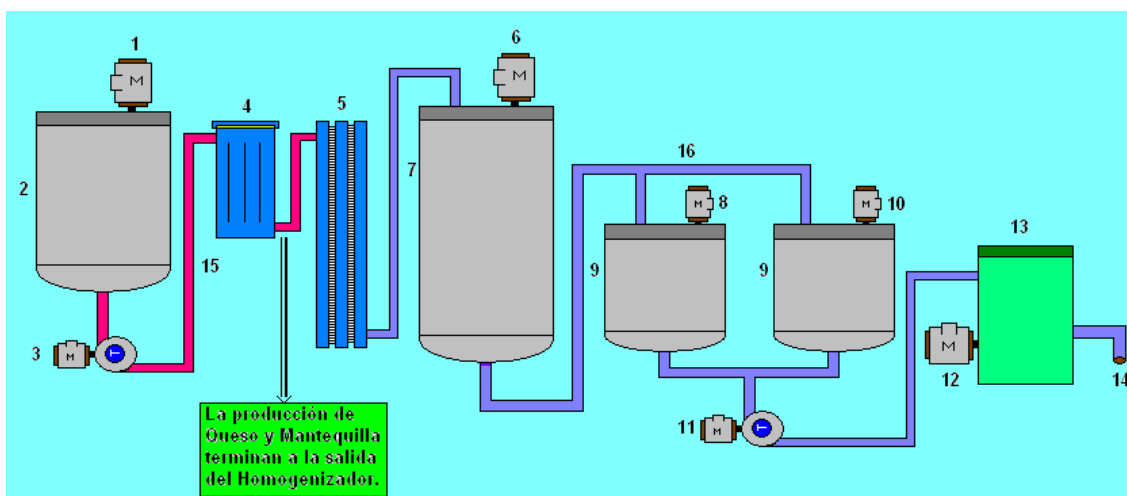


Figura 1.2 Esquema tecnológico para la producción de queso cresol, mantequilla y helado. Fuente: Garcés (2009).



Leyenda.

1. Agitador del tanque de preparación de la mezcla.
2. Tanque de preparación de la mezcla.
3. Bomba doble pistón.
4. Homogeneizador.
5. Cortina de enfriamiento.
6. Agitador del tanque de la mezcla terminada.
7. Tanque de la mezcla terminada.
8. Agitador del tanque de recepción de la mezcla terminada.
9. Tanque de recepción de la mezcla terminada.
10. Agitador del tanque de recepción de la mezcla terminada.
11. Bomba mono pistón.
12. Motor de la máquina de hacer Helado.
13. Máquina de hacer Helado.
14. Salida del producto terminado.

En la producción de helado intervienen varios procesos que influyen directamente en el consumo de energía, como son:

- _ Estandarización de la mezcla. (dura aproximadamente 1 h).
- _ Homogenización. (dura aproximadamente 2 h).
- _ Bombeado de la mezcla para llevarla de 0 a 10°C. (dura aproximadamente 1 h).
- _ Maduración de la mezcla (puede durar aproximadamente de 4 a 24 h).

En la producción de Queso Cresol se emplean los motores de la Línea Nueva, el agitador del tanque de preparación de la mezcla, la bomba doble pistón del área de helado y el homogeneizador. Ver anexos, tabla 2.8.



Para la obtención del queso cresol, a través y después del molinado intervienen una serie de procesos que están estrechamente relacionados con los consumos de energía eléctrica los cuales son:

1. Obtención de la pasta de soya después del molinado, $Ac = 0.30 \%$.
2. Adición de la grasa vegetal.
3. Disolución y adición de la leche (se añade poco a poco).
4. Refrescamiento hasta $(42 \text{ a } 45^{\circ}\text{C})$
5. Inoculación con cultivo industrial, 3% .
6. Coagulación, Tiempo 2 h , $Ac \ 0.75 \%$, Temperatura. $(42 \text{ a } 45^{\circ}\text{C})$
7. Corte del coágulo agitando 5 minutos .
8. Calentamiento hasta 65°C y adición de sal $1,5 \%$, conservantes $0,1 \%$.
9. Pasteurización Temperatura 65°C , Tiempo $0,5 \text{ h}$.
10. Homogenización. Presión 150 kgf/cm^2 , Temperatura $(60 \text{ a } 65^{\circ}\text{C})$
11. Envasado, pesado y temperamento.
12. Almacenamiento del producto terminado de $(2 \text{ a } 6^{\circ}\text{C})$

1.5 Conclusiones del capítulo 1

- _ La bibliografía consultada se muestran fundamentalmente los principales portadores energéticos, y su incidencia en el proceso.
- _ Los trabajos relacionados con la búsqueda de mejoras en la eficiencia de los sistemas de refrigeración parten de un diagnóstico energético para la identificación de los puestos claves.

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Introducción

El cálculo de carga térmica de una cámara de refrigeración tiene por objetivo la determinación de la cantidad de calor que es necesario extraer de la misma en un tiempo determinado para crear y mantener en su interior las requeridas temperaturas y humedad relativa.

En refrigeración, esta cantidad de calor a extraer de la cámara se calcula por día (24 horas), y se toma de 16 a 20 horas diarias de operación del equipo de refrigeración para vencer dicha carga, dejando las horas restantes del día para descongelación de los serpentines y como un factor de reserva para cargas poco frecuentes, para cámaras con serpentines de enfriamiento a temperatura de evaporación del refrigerante de $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ o menor, se toman de 18 a 20 horas diarias de funcionamiento de la refrigeración. Si la cámara opera a más de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, es práctica general tomar 16 horas de operación, lo que permite suficiente tiempo de parada de los compresores para que el aire de la cámara (sobre $0\text{ }^{\circ}\text{C}$) pueda utilizarse para deshielo.

Pero si la temperatura de la cámara es inferior a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, se suele utilizar medios de descongelación tales como gas caliente, electricidad, etc., de manera que la eliminación de escarcha de los serpentines se pueda realizar rápidamente y con mínimo de aumento en la temperatura de la cámara, permitiendo un tiempo de operación de los compresores de 18 hora diarias.

La humedad relativa en las cámaras se suele obtener manteniendo un diferencial fijo entre las temperaturas de la cámara y la de evaporación del refrigerante.

Para la evaluación energética de cámaras frías es ineludible el procedimiento de cálculo de la carga térmica de refrigeración, por cuanto la literatura especializada recoge varios métodos y se debe seleccionar el más adecuado en cada caso en correspondencia con las características de la cámara, en tal sentido el **objetivo** del presente capítulo es:

Establecer el procedimiento de cálculo adecuado para la evaluación de cámaras de refrigeración en correlación con los aspectos teóricos metodológicos propuestos en investigaciones anteriores.

2.2 Método general de cálculo de carga térmica

En este método la carga térmica Q , de una cámara de refrigeración comercial se descompone en las siguientes cargas parciales que se relacionan a continuación.

Carga de transmisión de calor por conducción a través de las paredes, techo y piso de la cámara; Q_a .

Carga de infiltración del aire exterior en la cámara; Q_y .

Carga del producto a conservar en la cámara; Q_p .

Carga miscelánea, que comprende las cargas térmicas debidas a personas, y a equipos eléctricos; Q_m .

Por lo tanto la ecuación 2.1 permite determinar la carga térmica para una cámara de refrigeración comercial.

$$Q_{at} = Q_a + Q_y + Q_p + Q_m \quad (2.1)$$

Estas cargas térmicas se expresan en $kcal$. La primera depende principalmente del área exterior de la cámara y las restantes del volumen interno de la misma.

2.2.1 Carga de transmisión de calor.

Esta carga es debido a la diferencia de temperatura entre el aire exterior e interior de la cámara, lo cual da lugar a una transferencia de calor por conducción del medio exterior hacia el interior de la cámara. Esta transferencia de calor se disminuye mediante el aislamiento térmico de la cámara con un material aislante térmico.

En general las cámaras de refrigeración comercial no están expuestas a las radiaciones solares y si lo están es por poco tiempo debido a la protección de los elementos del edificio. Donde estén ubicadas, por lo que no se suele considerar en el cálculo de carga térmica el efecto solar.



La carga de transmisión de calor a través de las paredes, techo y piso de una cámara se calcula por la ecuación 2.2:

$$Q_a = S \cdot K(t_e - t) \cdot 24 h \quad (2.2)$$

Dónde:

- _ Q_a : Carga de transmisión de calor a través de las paredes, techo y piso de una cámara; $kcal/24 h$.
- _ S : Área exterior total de la cámara (paredes, techo y piso); m^2 .
- _ K : Coeficiente global de transferencia de calor; $kcal/m^2 \cdot ^\circ C$
- _ t_e : Temperatura del aire exterior a la cámara; $^\circ C$ que se toma como la temperatura de diseño de la localidad. Para Cuba, por norma de la Comisión Nacional de Refrigeración y Climatización es de $32,2 \text{ }^\circ C$, también se puede determinar a través de la tabla 2.1 de libro de texto: Instalaciones de Climatización de Lazara Polaina de los Santos.
- _ t : Temperatura de diseño de la cámara o sencillamente temperatura de la cámara; $^\circ C$ se obtiene en dependencia de los productos que se desean conservar o congelar.

El área exterior de la cámara se calcula por la ecuación 2.3.

$$S = 2(L \cdot A + L \cdot H + A \cdot H) \quad (2.3)$$

Dónde:

- _ S : Área exterior de la cámara; m^2 .
- _ L : Longitud exterior de la cámara; m .
- _ A : Ancho exterior de la cámara; m .
- _ H : Altura exterior de la cámara; m .

Cuando no se tienen las dimensiones interiores de la cámara, se acostumbra a restar 0,30 o 0,60 m a las dimensiones exteriores de ésta para obtener las dimensiones interiores según la cámara sea para temperatura superior o inferior a $0 \text{ }^\circ C$, respectivamente.

Es importante conocer el valor del coeficiente global de transferencia de calor K , el cual se determina a través de la ecuación 2.4.

$$K = \frac{\lambda}{\delta} \quad (2.4)$$

Dónde:

– K : Coeficiente global de transferencia de calor; $W/m^2 \cdot ^\circ C$.

– λ : Conductividad térmica del material aislante; $W/m^2 \cdot ^\circ C$.

– δ : Espesor del material aislante; m .

Normas cubanas frigoríficas

a) para cámara de productos congelados: $k = 0,225 W/m^2 \cdot ^\circ C$.

b) para cámaras de productos enfriados: $k = 0,41 W/m^2 \cdot ^\circ C$.

Aquí tomando como referencia el coeficiente global de transferencia de calor según normas cubanas frigoríficas, se calcula el espesor del aislante térmico y luego se normaliza su espesor según la tabla 2.1. El espesor normalizado se sustituye nuevamente en la ecuación 2.4 para hallar el coeficiente global de transferencia de calor normalizado, que luego se sustituye en la ecuación 2.2.

Tabla 2.1: Espesores equivalentes de materiales aislantes.

Material	Espesor (Mm.)			Material	Espesor (Mm.)		
Corcho, planchas	50	75	100	Insulex	100	150	200
Madera balsa	75	113	150	Lithboard	75	100	150
Corcho granulado	63	100	130	Aserrín	100	150	200
Poliestireno expandido	25	50	100				

Los siguientes materiales tienen el espesor equivalente al del corcho en plancha: Cabolts Quilt, Celotex, Lana de Bálsamo, Dry, Fobrodelt, Flaxlinum, Hairfelt, Insulite, Kapok, Línofelt, Masonite, Lana Mineral, Rock Corck, Rock Wool y Poliestireno Expandido.

Dónde el valor de la conductividad térmica del material aislante λ se selecciona de la tabla 2.2, y el del coeficiente global de transferencia de calor K se escoge por normas cubanas, según la temperatura que se quiere tener en el interior de la cámara.

Tabla 2.2 Densidad y conductividad térmica (λ) de materiales aislantes.

Tipo de material	Densidad (kg/m ³)	Conductividad térmica (W/m ^{°C})	Utilización
Poli espuma	20 a 30	0,046 a 0,058	Pared exterior e interior (lateral, pisos, techo)
Corcho	220	0,07	
Poliuretano suspendido	30 a 100	0,35 a 0,046	
Sipurex	400	0,17	Aislamiento y construcción de paredes, tabiques. Aislamiento de pisos y construcción de techos

2.2.2 Carga de infiltración

Cierta cantidad de aire exterior penetra en la cámara cada vez que se abre su puerta, y además también penetra por otras fuentes de infiltración tales como rendijas, juntas de puertas, etcétera, por lo cual se hace necesario llevar el aire infiltrado de las condiciones del ambiente exterior a las de la cámara, constituyendo esto una carga más a vencer por el equipo de refrigeración, y que se denomina carga térmica de infiltración.

La cantidad de aire de infiltración se establece por estudios basados en la experiencia, y se suele expresar en cambios o renovaciones de aire por día (24 h). En la tabla 2.3 se dan los cambios de aire de infiltración por día para cámaras a temperaturas superiores a 0 °C y en la tabla 2.4 para cámaras a temperaturas inferiores a 0 °C.

Tabla 2.3: Infiltración promedio de aire exterior en las cámaras de refrigeración a más de 0 °C en cambios por 24 h.

Volumen de la cámara (m ³)	Cambios por 24 h	Volumen de la cámara (m ³)	Cambios por 24 h	Volumen de la cámara (m ³)	Cambios por 24 h
6	42	36	15,5	220	5,6
7	38,1	42	14,2	300	4,7
8	35,6	50	12,6	400	4,1
10	31,8	60	10,7	600	3,4
12	28,6	70	10,6	800	2,8
14	26,1	80	9,9	1000	2,5
18	22,3	100	8,8	1400	2
22	20,2	120	7,9	1800	1,9
26	18,5	140	7,2	2200	1,6
30	17	180	6,3	2800	1,4

Nota: Para uso intenso de las cámaras deben multiplicar los valores que aparecen en la tabla por 2, y para almacenamiento por largo tiempo se multiplican por 0,6.

Tabla 2.4: Infiltración promedio de aire exterior en las cámaras de refrigeración a menos de 0 °C en cambios por 24 h.

Volumen de la cámara (m ³)	Cambios por 24 h	Volumen de la cámara (m ³)	Cambios por 24 h	Volumen de la cámara (m ³)	Cambios por 24 h
6	32,1	36	11,9	220	4,4
7	29	42	11	300	3,7
8	27,1	50	10	400	3,1
10	24	60	9,2	600	2,5
12	21,8	70	8,3	800	2,2
14	20,1	80	7,6	1000	1,9
18	17,5	100	6,7	1400	1,6
22	15,6	120	6,1	1800	1,4
26	14,1	140	5,6	2200	1,3
30	13,1	180	4,9	2800	1,1

Nota: Para uso intenso de las cámaras de deben multiplicar los valores que aparecen en la tabla por 2, y para almacenamiento por largo tiempo se multiplican por 0,6.

La carga de infiltración se expresa por la expresión 2.5.

$$Q_V = (Q_{v.senc} + Q_{v.lat}) \cdot 24h \quad (2.5)$$

Dónde:

– Q_V : Carga de infiltración de la cámara, *kcal/24 h*.

– $Q_{v.senc}$ -Carga de infiltración sensible, *kcal*.

– $Q_{v.lat}$ -Calor de infiltración latente, *kcal*.

La carga de producto se expresa por la ecuación. 2.6.

$$Q_{V.senc} = 0,29 \cdot N \cdot (t_{bs.ext} + t_{bs.int}) \quad (2.6)$$

Dónde:

Q_v : Carga de infiltración de la cámara; *kcal / h*

V : Volumen de la cámara; *m³*



N : Renovación de aire o cambio de aire por 24 h. (cambio/h) tablas 1.3 y 1.4.

$t_{bs,ext}$: Temperatura del bulbo seco exterior; 0°C

$t_{bs,int}$: Temperatura del bulbo seco interior ó Temperatura de la cámara; 0°C .

Para desarrollar este paso se debe conocer el volumen de la cámara. Para cuando se tienen las dimensiones exteriores de la cámara para temperaturas superior a 0°C , se emplea la ecuación 2.7 y para temperaturas en la cámara inferiores a 0°C , se emplea la ecuación 2.8.

$$V = [(L - 0,6) \cdot (A - 0,6) \cdot (H - 0,6)] \quad (2.7)$$

$$V = [(L - 1,2) \cdot (A - 1,2) \cdot (H - 1,2)] \quad (2.8)$$

Ahora, según se trate, si la temperatura de la cámara es superior o inferior a 0°C , se va a la tabla (2.3) ó a la tabla (2.4) a escoger el valor de la cantidad de cambios de aire por día (N), la cual es elegida según la temperatura y el volumen de la cámara. El especialista que realiza la proyección no debe olvidar los valores que serán asignados a la humedad específica exterior e interior (W_{ext}, W_{int}) los cuales deben ser extraídos de la carta psicometría, recordando que la unidad de medida en que se expresan las mismas es $kg_{v.agua}/kg_{gas}$.

El valor 0,29 que precede la ecuación 2.6 se desprende de la relación entre el calor específico y el volumen específico del aire húmedo a 21°C de temperatura de bulbo seco y 50 % de humedad relativa: $\frac{0,245 \text{ kcal/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}}{0,845 \text{ m}^3/\text{kg}} = 0,29 \text{ kcal/m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}$

Dónde:

_ 0,245 kcal/kg $\cdot ^{\circ}\text{C}$: Calor específico del aire húmedo a 21°C y 50 %.

_ 0,845 m^3/kg : Volumen específico del aire húmedo a 21°C y 50 %.

La carga de infiltración latente se determina a través de la ecuación 2.9.

$$Q_{v,lat} = 0,71 \cdot V \cdot N \cdot (W_{ext} - W_{int}) \quad (2.9)$$

El valor 0.71 que precede la ecuación 2.9 se desprende de la relación entre el valor medio de la cantidad de vapor en la condensación de un gramo de vapor de



agua y el volumen específico del aire húmedo a 21°C de temperatura de bulbo seco y 50 % de humedad relativa.

Dónde:

– W_{ext} y W_{int} , humedad específica del aire exterior e interior en; kg_{va}/kg_{as} .

$$- \frac{0,6 \text{ kcal/kg}}{0,845 \text{ m}^3/\text{kg}} = 0,71 \text{ kcal/m}^3$$

– 0,6 kcal/kg: Valor medio de la cantidad de vapor en la condensación de un gramo de vapor de agua.

2.2.3 Carga del producto

Esta carga consiste en la cantidad de calor que es necesario extraer del producto para enfriarlo desde su temperatura de entrada a la cámara hasta la temperatura de ésta en un tiempo determinado. Puede tener varios componentes según el producto que se desee enfriar a una temperatura superior o inferior a su temperatura de congelación. En las frutas y vegetales el calor de respiración de los mismos constituye una componente más de esta carga.

Enfriamiento del producto a temperatura superior a su temperatura de congelación

En este caso la carga térmica del producto se expresa por la ecuación 2.10.

$$Q_p = \omega \cdot C_1 \cdot (t_1 - t) \quad (2.10)$$

Dónde:

– Q_p : Carga térmica del producto; $kcal$.

– ω : Cantidad diaria del producto que entra en la cámara; kg .

– C_1 : Calor específico del producto sobre su temperatura de congelación; $kcal/kg \cdot ^\circ C$.

– t_1 : Temperatura a la cual entra el producto en la cámara; $^\circ C$.

– t : Temperatura de la cámara; $^\circ C$.



Enfriamiento del producto a temperaturas inferior a su temperatura de congelación

La carga térmica del producto para enfriarlo a una temperatura inferior a su temperatura de congelación viene dada por la ecuación 2.11.

$$Q_p = Q_{p1} + Q_{pc} + Q_{p2} \quad (2.11)$$

Dónde:

- Q_{p1} : Carga de enfriamiento del producto desde su temperatura de entrada en la cámara hasta su temperatura de congelación; $kcal/24\ h$, se determina por la ecuación 2.12.

$$Q_{p1} = \omega \cdot C_1 \cdot (t_1 - t_c) \quad (2.12)$$

- Q_{pc} : Carga latente de solidificación o congelación del producto; $kcal/24\ h$, se determina por la ecuación 2.13.

$$Q_{pc} = \omega \cdot h_c \quad (2.13)$$

- Q_{p2} : Carga de enfriamiento del producto desde su temperatura de congelación hasta la temperatura de la cámara; $kcal/24\ h$, se determina por la ecuación 2.14.

$$Q_{p2} = \omega \cdot C_2 \cdot (t_c - t) \quad (2.14)$$

- C_1 y C_2 : Calores específicos del producto antes y después de su temperatura de congelación; $kcal/kg \cdot ^\circ C$.
- h_t : Calor latente de congelación del producto antes y después de su temperatura de congelación; $kcal/kg \cdot ^\circ C$.
- t_1 : Temperatura de entrada del producto; $^\circ C$.
- t_c : Temperatura de congelación del producto; $^\circ C$.
- t : Temperatura de la cámara; $^\circ C$.
- ω : Masa de productos; kg .

$$Q_{p1} = \omega \cdot C_1 \cdot (t_1 - t_c) \quad (2.12)$$

Si se requiere que el tiempo de enfriamiento de un producto sea mayor o menor de 24 horas, se puede hallar la cantidad equivalente de producto a enfriar en 24 h mediante la ecuación 2.15:

$$\omega = \omega_0 \cdot (24/\theta) \quad (2.15)$$

Dónde:

- _ ω : es la cantidad de producto a enfriar en 24 h; *kg*.
- _ ω_0 : Cantidad de producto a enfriar en θ horas; *kg*.
- _ θ : Tiempo de enfriamiento del producto, (mayor o menor de 24h).

Carga de respiración de frutas y vegetales

En las frutas y vegetales después de separados de su fuente de vida, continua la actividad de respiración de sus células, lo cual produce una disipación de calor al aire circundante. Este calor de respiración que es distinto para cada fruta o vegetal y que aumenta con la temperatura constituye una componente más de la carga de estos productos y se determina a través de la ecuación 2.16.

$$Q_R = \omega \cdot C_R, \quad (2.16)$$

Dónde:

- _ Q_R : Carga de respiración de frutas y vegetales; *kcal*.
- _ C_R : Calor de respiración (kcal/TMd) el cual esta tabulado en el Stoker y se escoge según el producto a conservar.
- _ TMd: Tonelada métrica por día.
- _ 1 TMd = 1000 kg/día.

2.2.4 Carga miscelánea

Esta carga comprende la disipación de calor de las personas y equipos eléctricos dentro de la cámara y se determina por la ecuación 2.17.

$$Q_{misc} = Q_{per} + Q_{ep} \quad (2.17)$$

Dónde:

- _ Q_{per} : Carga por presencia de personas; *kcal/h*.

– Q_{ep} : Carga por equipo; $kcal/h$.

Carga de personas

En la tabla 1.6 se expresa el calor disipado por las personas dentro de las cámaras a distintas temperaturas de operación.

Los seres humanos dado su metabolismo emanan calor al medio que los rodea el cual será más o menos intenso según la actividad que se haga, el cálculo correspondiente se realiza a través de la ecuación 2.18.

$$Q_{per} = C_d \cdot n \quad (2.18)$$

Dónde:

– C_d : Calor disipado por personas; $kcal/horas \cdot personas$, tabla 2.6.

– n : Número de personas.

Tabla 2.6 Calor disipado por las personas

Temperatura de la Cámara, (°C)	Calor disipado, (kcal / h · personas)	Temperatura de la Cámara, (°C)	Calor disipado, (kcal / h · personas)
24	354	-4	250
-20	342	0	234
-16	324	4	214
-12	302	8	193
-8	274	10	182

Carga de equipos eléctricos

Esta carga térmica proviene de dos fuentes: alumbrado y motores eléctricos. En el primer caso se sabe que 1 Watt equivale a 0,860 $kcal/h$ o 20,6 $kcal/24 h$, lo cual permite hallar esta carga dado la potencia de las lámparas de las cámaras. La carga térmica de los motores eléctricos se especifica en la tabla 2.7, teniendo en cuenta la posición del motor y su carga conectada en relación con el espacio refrigerado y la misma se determina a través de la ecuación 2.19.

$$Q_q = Q_{ilum} + Q_{m.elect} \quad (2.19)$$

Dónde:

La carga térmica por motores eléctricos se determina a través de la ecuación 2.20.



$$Q_{m.elect} = N_m \quad (2.20)$$

Dónde:

– N_m : Potencia del motor; kW

Se pueden presentar tres casos:

- **Caso 1.** Motor dentro del local refrigerado realizando trabajo útil dentro de éste. (Motor de ventilador de enfriador de aire de techo.
- **Caso 2.** Motor fuera del local refrigerado produciendo trabajo útil dentro de éste. (Motor de bomba de circulación de salmuera o agua fría, motor fuera de la cámara accionando el ventilador dentro de ésta)
- **Caso 3.** Motor dentro de la cámara refrigerada realizando trabajo útil fuera de ésta. (Motor dentro de la cámara accionando bomba o ventilador fuera de ésta)

Dentro de los frigoríficos hay generalmente colocadas lámparas para poder ver en ellos, dada la constitución de las mismas, también desprenden calor que hay que tener en cuenta y que se determina por la ecuación 2.21.

$$Q_{ilum} = N_{ilum} \quad (2.21)$$

Dónde:

– N_{ilum} : Potencia eléctrica instalada; kW

2.2.5 Factor de seguridad y carga horaria

En este paso se concluye la metodología, sencillamente se le halla el 10 % a la carga diaria total y se le suma con el objetivo de tener un coeficiente de seguridad confiable, por último, se calcula la carga horaria que consiste en dividir el valor final entre 16 ó 18 h, como lo muestra la ecuación 2.22

$$CH = (Q_{dt} + 10\% \cdot Q_{dt}) / 16 \text{ ó } 18 \text{ h} \quad (2.22)$$

Dónde:

– CH : carga horaria, $kcal/h$.



2.3 Análisis de los costos

El costo de producción es la expresión, en dinero, en trabajo o en otro término medible de todos los gastos relacionados con la producción y la realización de esa producción.

Para relazar este análisis se toman en cuenta los gastos en que incurre la empresa los cuales son:

Los gastos para la producción de frío corresponden a los siguientes términos:

- _ I.- Materiales auxiliares.
- _ II.- Energía eléctrica.
- _ III.- Agua.
- _ IV.- Salarios.
- _ V.- Gastos varios.

Costos directos e indirectos

Los términos del I al IV corresponden fundamentalmente a la categoría de costos directos, o sea se relacionan de una forma directa con el frío producido, incluyéndose íntegramente en el valor de éste; el término V corresponde a la categoría de costos indirectos en lo fundamental, o sea se incluye parcialmente en el valor del frío producido, esto es, indirectamente. Es significativo destacar el hecho de que a la actividad de refrigeración no se le atribuyen los costos de la materia prima y de los materiales fundamentales por no existir éstos en este tipo de producción.

- _ Materiales Auxiliares: son los refrigerantes (primarios y secundarios) y los lubricantes, utilizados para reponer las cantidades requeridas en las instalaciones, excluyéndose el llenado inicial de éstas.
- _ Energía Eléctrica: Es la energía eléctrica o su equivalente consumida, los medios utilizados para su aplicación y la fuerza de trabajo especializada para la operación y mantenimiento de los equipos que generan y/o acondicionan la energía suministrada para su consumo en la instalación.



- _ Agua: Es toda el agua fresca utilizada en los equipos de la instalación, o sea, se excluye la depositada en tanques, torres de enfriamiento, etc.
- _ Salarios: Es el fondo salarial de los obreros ocupados en la operación y mantenimiento directos de la instalación, es decir, se excluyen los trabajadores que no participan de forma directa en el proceso de producción de frío.
- _ Gastos varios: Son los gastos en personal administrativo, en manutención del edificio (limpieza, iluminación, climatización), amortización de los medios básicos (edificio y equipos); así como los gastos de seguridad e higiene del trabajo, racionalización e inventivas, herramental, etc.

Gastos para la producción de frío

Los gastos para la producción de frío son la suma de todos los aspectos anteriores en pesos o dólares al ser relacionados con la producción de frío (en miles de kJ, toneladas) tomados ambos en un período dado, fijado de antemano (trimestres, semestres, año, quinquenio) brindará el valor que se quiere conocer: el costo de la producción de frío de la unidad de capacidad de refrigeración expresada en \$/t, \$/GJ u otras.

Para la determinación de los gastos de producción de frío de deben seguir los siguientes pasos:

- _ Determinación de la capacidad de refrigeración de la instalación frigorífica en el período de cálculo.
- _ Determinación del valor de los medios básicos, materiales, energía, agua, salarios y otros recursos que se utilizan para producir el frío en el período de cálculo.
- _ Determinación del costo de producción de frío.

Capacidad de refrigeración

Se toma toda la capacidad de refrigeración de la sala de máquinas durante el período de cálculo deseado. Se supone un año de duración para esta etapa. Se recomienda asumir que cada equipo trabaja 20 horas al día, salvo que se cuente con datos más exactos sobre la utilización de los equipos. De aquí:



$$Q_o = \tau \Sigma i \times Q_i, \text{ miles de kJ/año} \quad (2.23)$$

Dónde:

- _ $\tau \Sigma i$ = Total de horas de trabajo de cada equipo en el año.
- _ Q_i = Capacidad de refrigeración de cada equipo para las condiciones de trabajo del sistema, en miles de kJ/h.

Valores normalizados

Muchas de las normas utilizadas en esta metodología se relacionan con Q_i o con Q_o , por lo que es más cómodo trabajar con valores estandarizados de éste, para lo cual se debe recalcular Q_o para las condiciones de trabajo correspondientes a:

- _ Temperatura de evaporación -15 °C.
- _ Temperatura de condensación +30 °C.
- _ Temperatura de succión -10 °C.
- _ Temperatura de entrada al dispositivo de expansión +25 °C.

Gastos de producción

A continuación se realizará el cálculo de los materiales auxiliares desde el punto de vista de la instalaciones y particularizando en caso de que sea necesario.

Materiales auxiliares

El cálculo de los materiales auxiliares se comienza primeramente por el del refrigerante por ser el principal:

$$G_o = \Sigma N_i \times g_i, (\text{kg/año}) \quad (2.24)$$

Dónde:

G_o = Cantidad anual de determinado refrigerante, que se gasta por pérdidas de operación de todas las máquinas que lo usan, kg/año.

N_i = Número de equipos que usan este refrigerante y estarán en operación durante el año en condiciones técnicas semejantes.

g_i = Norma de gasto de refrigerante por cada equipo en funcionamiento, kg/año.



Gastos de refrigerantes

Se toma de 0,2 a 0,3 kg/año para los freones y de 2 a 4 kg/año para el amoníaco por cada 4 187 kJ o 1 000 kcal. Estándares, correspondiendo el valor menor a los sistemas con enfriamiento directo, los medios a los de enfriamiento indirecto y los mayores a los de enfriamiento combinado. Para las sales se toma 27 kg/m² de superficie de los evaporadores en sistemas cerrados y 300 kg/m² en sistemas abiertos. Si se tienen valores más exactos para el caso específico deben preferirse los aquí recomendados.

$$Gr = \Gamma r Go, \text{ (kg/año)} \quad (2.25)$$

Dónde:

Gr = Cantidad de refrigerante a rellenar para cubrir las pérdidas durante la reparación del año, kg/año.

Γr = Coeficiente que tiene en cuenta las pérdidas de refrigerante durante la reparación del sistema. Se toma un rango de 0,6 a 0,7 en dependencia del estado técnico de la instalación.

Gasto total de refrigerante

El gasto total de refrigerante es:

$$G = Go + Gr, \text{ kg/año} \quad (2.26)$$

Y su valor, aumentado en un 10 % para tener en cuenta los gastos de transportación y manipulación, es:

$$CA = 1,1G.cr, \text{ \$/año} \quad (2.27)$$

Dónde:

cr = Valor de la unidad de peso de refrigerante en \$/kg.

De forma similar a la expuesta, se procede con todos los refrigerantes utilizados en el sistema, sumando finalmente sus costos totales.

Luego se calcula el gasto de lubricantes del sistema:

$$GL = \sum Mi \tau_i gLi, \text{ kg/año} \quad (2.28)$$



Dónde:

GL = Gasto de determinado lubricante, kg/año.

Mi = Número de máquinas o partes de ésta que consumen ese lubricante.

gLi = Norma de gasto del lubricante dado por máquina o parte de ésta, kg/h. Se puede hallar en el catálogo de la máquina o por la experiencia de su operación. (Ver Tabla 1 Anexos).

τ_i = Número de horas de funcionamiento por año.

El valor total del lubricante, teniendo en cuenta los gastos para su transportación y manipulación como el 10 % del valor total del mismo, es:

$$CB = 1,1 \cdot GL \cdot cB, \$/\text{año} \quad (2.29)$$

Dónde:

cB = Valor de la unidad de peso de lubricante, \$/kg.

Con los demás lubricantes se procede análogamente y se suman los valores totales; luego, se puede conocer el gasto total en materiales auxiliares

$$CI = CA + CB, \$/\text{año} \quad (2.30)$$

Energía eléctrica

El valor de la energía eléctrica consumida es:

$$CE = ce \cdot ge \cdot Q_o, (\$/\text{año}) \quad (2.31)$$

Dónde:

ce = valor del kW. en \$. Se toma 0,06 \$/kW.

ge = Norma de gasto de energía eléctrica por 4 187 kJ (1 000 kcal). Se toma de 0,4 a 0,5 kW/4 187 kJ.

La amortización de la capacidad eléctrica instalada es:

$$CL' = AEL \cdot CEL, (\$/\text{año}) \quad (2.32)$$

Dónde:



AEL = Coeficiente de amortización de los equipos eléctricos instalados en el sistema. Expresa la parte de su valor que los equipos señalados cargan al del frío producida del año, 1/año. Se puede tomar, tentativamente, de 0,1 a 0,17 año⁻¹ en dependencia de la garantía que ofrece el suministrador para su equipo.

CEL = Valor de los equipos eléctricos instalados en el sistema, \$.

Si se conoce el valor de la amortización anual del kW. instalado, debe aplicarse de la forma correspondiente.

Los gastos totales en energía eléctrica son:

$$CII = CE + CL + CO, (\$/año) \quad (2.33)$$

Dónde:

CO = Gastos de operación, o fondo salarial anual de los electricistas ocupados directamente de la instalación, teniendo en cuenta su cantidad y calificación, \$/año.

Cuando se use otro tipo de fuerza motriz, se procede de forma similar.

Agua

El gasto total en agua es:

$$CIII = ga \cdot ca \cdot Qo \quad (2.34)$$

Dónde:

CIII = gasto total en agua. (\$/año)

ca = Valor del m³ de agua. (\$/m³), se toma, por experiencia, de 0,06 a 0,08 \$/m³

ga = Norma de gasto de agua fresca para el enfriamiento, m³/4 187 kJ (1 000 kcal Sta) se toma en dependencia del refrigerante y el tipo de condensador, como Muestra la Tabla 2 (anexos)

Salarios

Los gastos de salarios son:

$$CIV = \sum Ni \times Fi, \$/año \quad (2.35)$$

Dónde:



ΣNi = Cantidad de trabajadores de igual calificación

Fi = Fondo salarial anual de un trabajador de determinada calificación, \$/año.

Tanto Ni como Fi dependen de la cantidad, complejidad y capacidad de la instalación en que trabajen los obreros.

Gastos varios

Salarios del personal administrativo

$$C1 = \Sigma Ni \cdot Fi, (\$/año) \quad (2.36)$$

Este fondo salarial anual se halla de forma análoga al mostrado en IV.

Amortización de los medios básicos

El valor de los medios básicos es:

$$CMB = CEQ + CED, (\$) \quad (2.37)$$

Dónde:

CEQ = Valor de los equipos, (\$)

CED = Valor del edificio, (\$)

CEQ y CED deben tener en cuenta los gastos de montaje y transportación, tomados por separado como el 10 % del valor neto de los equipos y del edificio.

El valor de los medios básicos cargable al del frío producido es:

$$C2 = AEQ \cdot CEQ + AED \cdot CED, (\$/año) \quad (2.38)$$

Dónde:

AEQ = Coeficiente de amortización de los equipos del sistema, $año^{-1}$. Se puede tomar, tentativamente, de 0,08 a $0,1 \text{ año}^{-1}$

AED = Igual al anterior, pero del edificio. De 0,02 a $0,035 \text{ año}^{-1}$

Reparación del edificio y los equipos:

$$C3 = 0,05CMB, (\$/año) \quad (2.39)$$

Manutención del edificio:

$$C4 = \Sigma Ni \cdot Fi + CE \cdot \Sigma mi \cdot Li \cdot \tau i + CCL, (\$/año) \quad (2.40)$$

Dónde:

mi = Cantidad de lámparas de determinado tipo.



Li = Potencia consumida por una lámpara del tipo dado, kW.

CCL = Valor del medio climatizado, \$/año.

Seguridad e higiene del trabajo:

$$C5 = gsQo, (\$/año) \quad (2.41)$$

Dónde:

gs = Norma de gasto en seguridad e higiene del trabajo, \$/año. Se toma de 0,03 a 0,05 c\$/4 187 kJ (1 000 Kcal. std).

Racionalización e inventivas:

$$C6 = gRI \times Z, (\$/año) \quad (2.42)$$

Dónde:

gRI = Norma de gasto en racionalización e inventivas en el proceso productivo, \$/(año-obrero). Se toma de 10 a 20 \$/(año-obrero).

Z = Cantidad total de obreros en el proceso productivo. Depende de la magnitud de la instalación.

Reemplazo en el pañol:

$$C7 = gH \times Qo, (\$/año) \quad (2.43)$$

Dónde:

gH = Norma de gasto para reemplazos en el pañol. Se toma de 0,01 a 0,02 c\$/4 187 kJ(1 000 Kcal. std) y depende de la complejidad y/o nivel técnico de la instalación.

Otros gastos:

Los demás gastos en que se puede incurrir, C8, para apoyar la producción se estiman en cada caso particular. Un valor racional para instalaciones de hasta 349 kW es de 25 a 100 \$/año.

Resumiendo:

$$CV = C1 + C2 + C3 + C4 + C5 + C6 + C7 + C8, (\$/año) \quad (2.44)$$



Cálculo del costo de producción de frío

El costo total anual de la instalación es:

$$CT = CI + CII + CIII + CIV + CV, (\$/año) \quad (2.45)$$

Y, finalmente, el costo de 4 187 kJ de frío producido es:

$$C = CT/Q_0, \$/4\,187\text{ kJ} \quad (2.46)$$

Cálculo del costo de producción del frío

En las más comunes aplicaciones de la refrigeración, el valor de C oscila entre 0,01 y 0,12 \$/4 187 kJ (o 2,39 a 28,7 \$GJ⁻¹) dependiendo fundamentalmente su valor de la temperatura de evaporación de la instalación, el refrigerante y tipo de enfriamiento utilizado, el estado técnico de los medios básicos y la calidad y experiencia del personal que la opera.

2.4 Cálculo de la carga térmica del banco de agua helada.

Para el cálculo de la carga térmica del banco de agua helada se necesita las dimensiones del embalse dónde se almacena y las cargas térmicas a las cuales está sometida.

Datos técnicos del banco:

Área de paredes y fondos:

$$S_p = 71,52\text{ m}^2$$

$$S_f = 39,47\text{ m}^2$$

Área de la tapa

$$S_1 = 39,47\text{ m}^2$$

Volumen del tanque

$$V_T = 78,95\text{ m}^3$$

Volumen del evaporador

$$V_E = 6,2\text{ m}^3$$

Coeficiente global de transferencia de calor para paredes y fondo



$$K_1 = 0,5 \text{ kal/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$$

Coeficiente global de transferencia de calor para la tapa

$$K_2 = 2 \text{ kal/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$$

Temperatura del agua de retorno al tanque

$$t_R = 10 ^\circ\text{C}$$

Temperatura del agua a la salida del tanque

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

Calor específico del agua

$$C_p = 1 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

Densidad del agua

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Potencia efectiva del motor de los agitadores

$$N_{ef} = 2,2 \text{ kW}$$

La masa del agua se puede conocer a través de la siguiente expresión

$$m = (V_T - V_E) \cdot \rho \quad (2.47)$$

Carga térmica a extraer al agua para llevarla desde 10^0C hasta 0^0C .

$$Q_a = m \cdot C_p \cdot (t_R - t_S) \quad (2.48)$$

Carga térmica de transmisión de calor a través de paredes, techo y piso.

$$Q_p = S_1 \cdot K_1 \cdot (t_m - t_R) + S_2 \cdot K_2 \cdot (t_m - t_R) \quad (2.49)$$

Carga térmica de transmisión por los agitadores.

$$Q_{ag} = 0,860 \cdot 24 \cdot N_{ef} \quad (2.50)$$

Carga térmica diaria total del banco de agua fría.

$$Q^{dt}_{BA} = Q_a + Q_p + Q_{ag} \quad (2.51)$$

Carga térmica horaria total del banco de agua fría.



$$Q_{BA}^{hor} = \frac{Q_{BA}^{hor}}{20 h} \quad (2.52)$$

Cálculo de la carga térmica total del sistema para condiciones de proyecto.

Este cálculo incluye la suma de las cargas térmicas horaria totales de las dos cámaras y el banco de agua fría, considerando que la instalación esté trabajando a su máxima capacidad. Por tanto la carga térmica total será:

$$Q_{TOTAL} = Q_{PROYECTO1}^{hor} + Q_{PROYECTO2}^{hor} + Q_{BA}^{hor} \quad (2.53)$$

Evaluación del ciclo para la condiciones de diseño.

Para la realización de este cálculo fue necesario, primeramente, prefijar algunos parámetros del ciclo tales como la temperatura de evaporación y de condensación. Una vez prefijado estos valores, todos los demás se obtuvieron de los diagramas indicados. Para una mejor comprensión de los cálculos se hará una representación del ciclo en el diagrama Log P-h.

Condiciones iniciales:

$$t_0 = -10^{\circ}\text{C}$$

$$t_k = 30^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{TOTAL} = 813634,25 \text{ kJ/h}$$

$$P_o = 0,29 \text{ MPa}$$

$$P_K = 1,28 \text{ MPa}$$

Datos obtenidos del diagrama de refrigerante

$$h_1 = 1758 \text{ kJ/kg}$$

$$h_1' = 1780 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 1994 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = h_4 = 648 \text{ kJ/kg}$$

$$v = 0,41 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Capacidad frigorífica específica de masa

$$q_0 = h_1 - h_4 \quad (2.54)$$



Calor específico a extraer del condensador

$$q_K = h_2 - h_3 \quad (2.55)$$

Trabajo adiabático específico de compresión

$$W_0 = h_2 - h_1 \quad (2.56)$$

Cantidad de refrigerante en circulación

$$G_0 = Q_0/q_0 \quad (2.57)$$

Calor total a extraer del condensador

$$Q_K = G_0 \cdot q_K \quad (2.58)$$

Trabajo adiabático total de compresión

$$W_t = W_0 \cdot G_0 \quad (2.59)$$

Volumen de desplazamiento

$$V_d = \frac{V_R}{\lambda} \quad (2.60)$$

Dónde:

V_R Volumen real de amoníaco succionado por el compresor, m³/s.

λ Capacidad volumétrica igual a 0,82.

Para calcular el volumen real se debe utilizar la siguiente ecuación

$$V_R = G_0 \cdot v \quad (2.61)$$

Dónde:

v -es el volumen específico.

Determinación de la potencia necesaria del motor

$$N_{mot} = \frac{N_e}{(\eta_t \times \eta_e \times 1.1)} \quad (2.62)$$

Dónde:

N_e :Potencia efectiva, kW.



η_t :Eficiencia del acoplamiento del motor eléctrico, ($\eta_e = 0,8 \div 0,9$)

$$N_e = N_i + N_{fr} ,$$

Dónde:

N_i :Potencia indicada, kW.

N_{fr} :Potencia de fricción, kW.

$$N_i = \frac{W_t}{\eta_i} \quad (2.63)$$

Dónde:

W_t :Trabajo adiabático total de compresión, kJ/s.

η_i :Rendimiento indicado.

$$\eta_i = \lambda_w + (b \times t_o) \quad (2.64)$$

Dónde:

b :Coeficiente para compresores de amoníaco, ($b=0,0025$).

t_o :Temperatura de ebullición, °C

λ_w :Coeficiente de calentamiento.

$$N_{fr} = Vd \times P_{fr} \quad (2.65)$$

Dónde:

P_{fr} :Presión de fricción, (60 KN/m²).

$$N_{fr} = 6,12 \text{ Kw.}$$

$$N_e = 58,81 \text{ Kw.}$$

Por tanto la potencia del motor será igual:

$$N_{mot} = 56 \text{ kW}$$

Evaluación del ciclo para las condiciones actuales.

Condiciones iniciales:



$$t_o = -14^{\circ}\text{C}$$

$$t_K = 34^{\circ}\text{C}$$

$$P_o = 0,25 \text{ MPa}$$

$$P_K = 1,3 \text{ MPa}$$

$$Q_o = Q_{hor_{REAL}} + Q_{hor_{BA}}$$

$$Q_o = 250206,1 \text{ kJ / hr}$$

Datos obtenidos del diagrama.

$$h'_1 = 1741 \text{ kJ / kg}$$

$$h_1 = 1799 \text{ kJ / kg}$$

$$h_2 = 2070 \text{ kJ / kg}$$

$$h_3 = h_4 = 661 \text{ kJ / kg}$$

El método de cálculo energético es el mismo que se empleó en el epígrafe anterior, Dónde se trató de ser lo más explícito posible para no tener que en los cálculos posteriores repetir explicaciones.

2.5 Conclusiones del capítulo 2

- _ Los instrumentos de medición empleados en la investigación son adecuados para la toma de datos por cuanto los valores medidos de los parámetros en todos los casos estuvieron en el rango de medición especificado en las características técnicas de los respectivos instrumentos.
- _ Para la aplicación de la metodología establecida en este capítulo se empleará además la información suministrada por los responsables de las áreas implicadas en la investigación que se desarrolla.



CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1 Introducción

El que proyecta u opera una instalación frigorífica debe conocer lo que cuesta el frío que esta produce de la forma más exacta posible. El costo del frío depende de muchos factores entre los que influye directamente la aptitud y preocupación del proyectista (diseñador), del operador, y del reparador. Si se tiene en cuenta que la refrigeración es un servicio que mantiene, mejora o posibilita determinadas condiciones favorables de un proceso, de un local, de un producto, etc., aumenta la importancia de conocer en qué medida son racionales los costos de producción del frío y distribución del producto o servicio en cuestión y en su precio. En otras palabras, disminuir el costo de producción del frío es igual a disminuir los costos de producción o servicios.

El **objetivo** del capítulo es:

Contribuir a la disminución de los costos de producción o servicios de una instalación frigorífica, aplicando una metodología de cálculo que tenga en cuenta los factores del diseño, operación y reparación.

3.2 Análisis de los resultados del cálculo de la carga térmica

Lo primero a tener en cuenta en esta metodología es muy conveniente debido a que toma en cuenta todos los detalles que intervienen en el proceso y le da una importancia significativa al calor transmitido a través de los motores el cual como ya se conoce puede ser el principal emisor de calor.

En la cámara de conservación de helado se necesitan 15,48 ton para mantener el producto lo que nos permite determinar que con un compresor de dos etapas es más que suficiente.

La siguiente afirmación se puede validar al observar el siguiente gráfico en el cual se relacionan todas las cargas térmicas que actúan sobre la cámara de helado:

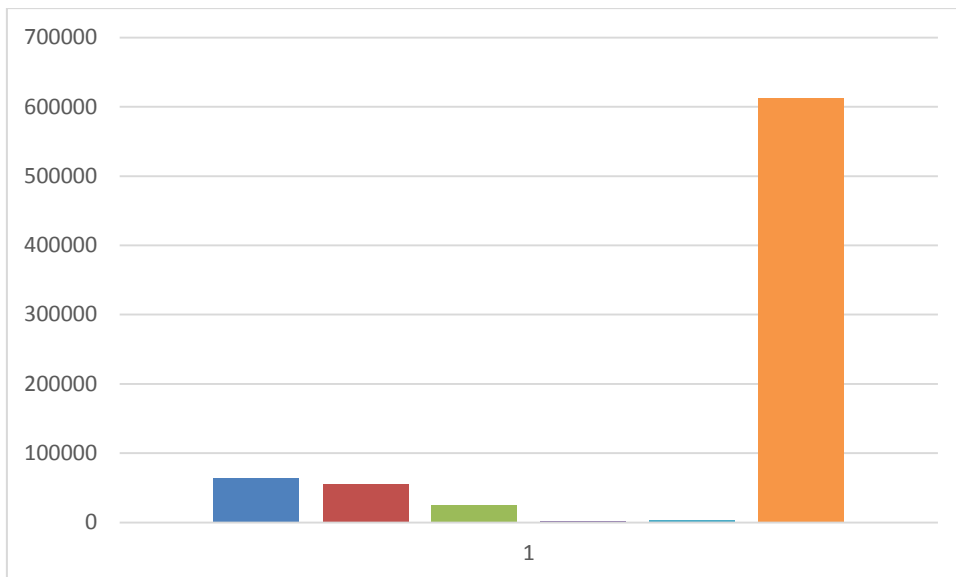


Gráfico 1: Cargas térmicas la cámara de conservación de helado.

Como se puede observar la principal incidencia a tener en cuenta son las cargas térmicas de motores, los cual nos indica que se debe disminuir los equipos de bombeo en el proceso.

A continuación se muestra un gráfico con las cargas de la cámara de los restantes productos, en kcal/24 h, los cuales se conservan en un local diferente al helado debido a que necesitan menor temperatura para su conservación.

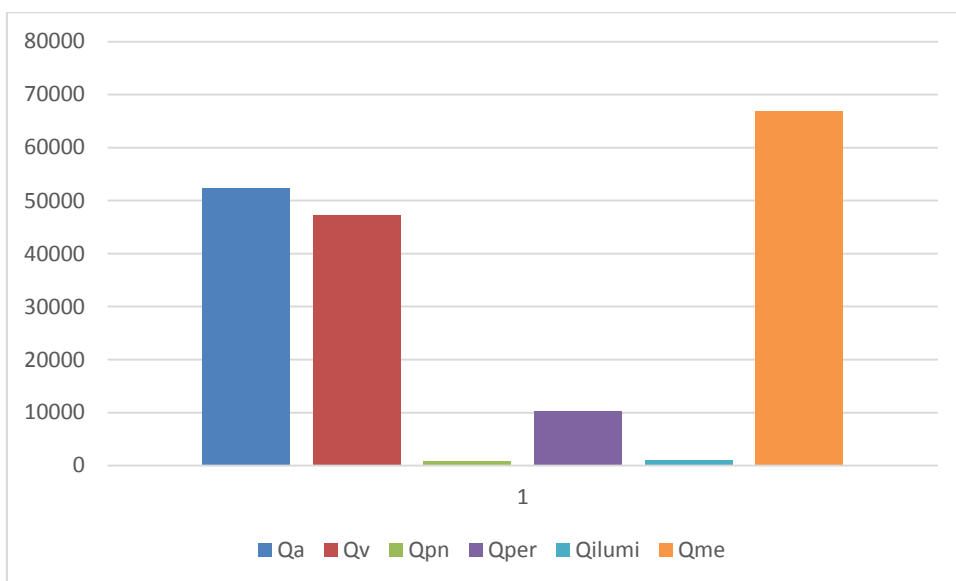


Gráfico 2. Cargas térmicas de la cámara de conservación de los productos.

Este caso reafirma lo anteriormente expuesto, pero también nos señala que la carga por conducción es también de importancia a la hora de analizar las principales deficiencias de la instalación.

La ultima carga térmica a determinar es la de la piscina fría, en kcal/24 h, la cual se utiliza para en fría el producto antes de ponerlo en la cámara de conservación de productos terminados, sus valores son graficados en el gráfico 3.

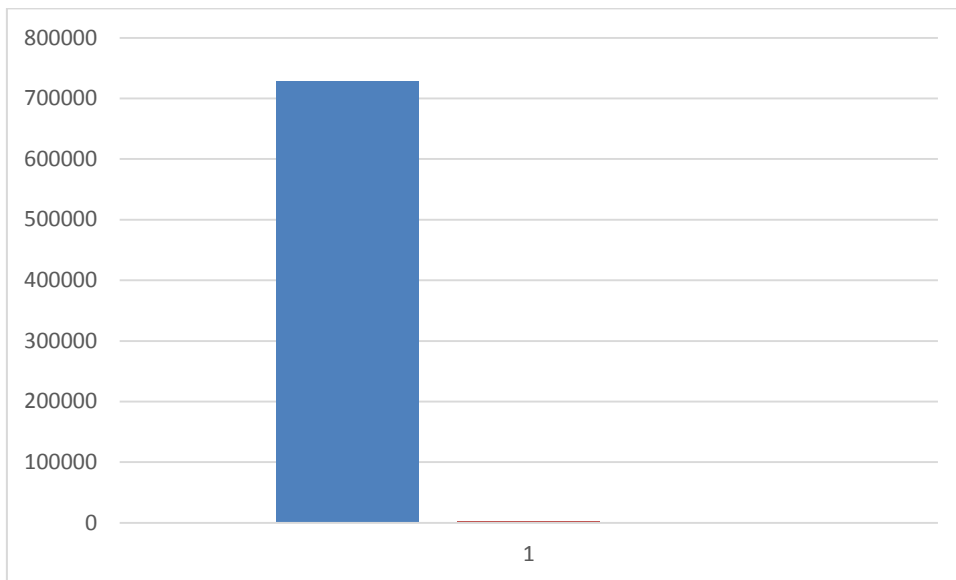


Gráfico 3. Carga del banco del agua fría.

El gráfico nos muestra que en el caso de las piscinas de agua helada la principal carga es la empleada para enfriar el fluido. Esto era de suponer debido a que el agua es el fluido que más se tarda en cambiar de temperatura y posee un alto poder calórico.

3.3 Análisis de los resultados de los costos

Como ya se expuso en el capítulo anterior los costos económicos están centrados principalmente en cinco términos los cuales serán representados en un gráfico lo que nos permitirá compararlos y determinar cuál es el de mayor incidencia en los gastos de la instalación.

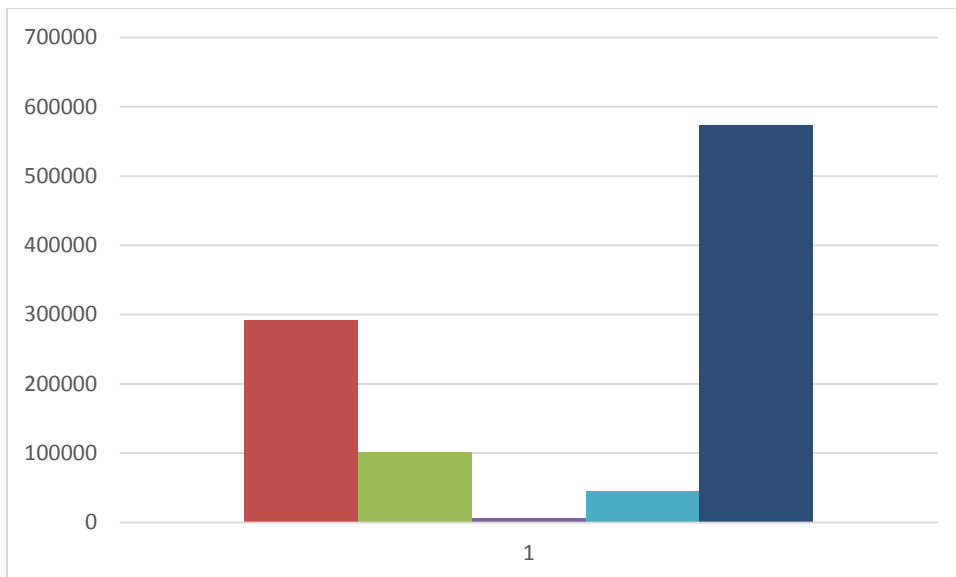


Gráfico 4. Costos de la producción de frío.

En la producción de frío el costo más importante a tener en cuenta es la electricidad, en el gráfico se muestra los costos por categorías siendo el mayor los costos variados dentro de los que los que se encuentran el salario de los obreros, el del personal que no intervienen directamente en la producción, y en de los medios básicos como .iluminaria, mesas y materiales de oficinas.

3.4 Conclusiones del Capítulo 3

- _ La empresa muestra una incorrecta explotación de la instalación objeto de estudio por debido principalmente al ineficiente aprovechamiento del volumen de la misma.
- _ Se observó que el área de refrigeración representa el 75 % del consumo total de energía eléctrica en la empresa.



Conclusiones generales

- Aplicando esta metodología se obtuvo que la carga térmica total de la instalación es de 32,77 ton de refrigeración lo cual se puede abastecer con un compresor de doble etapa marca Mycom el cual produce 75 ton.
- El costo del frío de la empresa es de 1 018 275,62 \$/año debido principalmente a los costos energéticos ya que la producción de frío está por encima de lo necesario.
- Si se tiene en cuenta que la refrigeración es un servicio que mantiene, mejora o posibilita determinadas condiciones favorables de un proceso, de un local, de un producto, etc., aumenta la importancia de conocer en qué medida son racionales los costos de producción del frío y distribución del producto o servicio en cuestión y en su precio.



Recomendaciones

- _ Continuar con el estudio de las demás instalaciones que componen el área de refrigeración para evaluar su impacto económico en los costos de producción.
- _ Evaluar si es factible económicamente el empleo de paneles aislantes para seccionar las cámaras frías, haciendo un uso más eficiente de su volumen y disminuyendo así las ganancias por estructuras e infiltración.
- _ Realizar acciones que garanticen la eliminación de las pérdidas por el mal aislamiento y salideros de agua, amoníaco y mezclas de productos lácteos.
- _ Realizar un estudio exergético integral en la empresa a partir de los resultados aquí expuestos, de manera que permita conocer de manera integral las pérdidas de energía y su costo, así como cuanto se necesita para su explotación eficiente.
- _ Cumplir con las normas de seguridad durante el uso y explotación del amoníaco en la instalación.



Bibliografía

1. Bautista O., F. Méndez; et al. Ciclo endorreversible de refrigeración con tres fuentesde calor con capacidad térmica finita. Termo energía. [en línea], 2000.
2. BorrotoNordelo, A.E; et. al. Libro de Gestión Energética en el sector productivo y losservicios. Cienfuegos: centro de estudios de energía y medio ambiente (CEEMA),2006.
3. Castro, Walesca. Funciones que deben cumplir un lubricante para compresores derefrigeración Separata Técnica, número 13, página 1.Abril 2001.
4. Campos Avella, J. C. La eficiencia energética en la competitividad de empresas.Cienfuegos. Universidad de Cienfuegos, 1998.
5. Cruz Viera L.y Gandón Hernández J. Determinación de los índices de consumoenergético en una planta de productos lácteos. Energética [en línea]. Vol. XXIII, No. (1),2003.
6. Douglas T. Reindl; et al. Purgadores automáticos en los sistemas de refrigeración.Energía. [En línea]. Febrero 2003.
7. Garcés Gallardo K.L. Sistema para la Gestión Energética en el Combinado Lácteo "El Vaquerito " de Moa. Secundino Marrero Ramírez (tutor). Trabajo de diploma.Instituto Superior Minero Metalúrgico, pág. 78, 2009.
8. Guerra Fernández, Yuniel. Valoración crítica de la situación actual de la planta defabricación de hielo del Municipio de Moa. Ever Góngora Leyva (tutor). Trabajo dediploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico, pág. 84, 2005.
9. Ginés Alfaro Vives, Orlando.; et al. Alternativas para el tratamiento de los residualesdel combinado lácteo Santiago. Tecnología química [en línea]. Vol. XXII, No. 1, 2002.
10. Hernández Batista, O. E. Gestión Energética en el Hotel Miraflores. Reineris Montero Laurencio; Marislaidis Reyes Locadio. Trabajo de Diploma.Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 2008.
11. Mendoza Rodríguez, Adán. Máquina frigorífica de expansión directa. Wikipedia, laenciclopedia libre. [en línea], 2006.



12. Restrepo, H.A, Fernández, L.A y Grajales, D.V. Estudio y análisis de estrategias de ahorro de energía usando el software (Engineer in Equation Solver) para la empresa Frigorífico de .Pereira S.A. Scientia et Technica.[en línea], 2007.
13. Ovidio Santos R. Sistemas de absorción, su impacto energético-ambiental. Energía.[En línea], 2003.
14. Sánchez Torres, R. Eficiencia Energética en el Combinado Lácteo Rafael Freyre Torres. Gabriel Hernández Rodríguez. Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 2003.
15. Vian, J.G.; Astrain, D. Estudio comparativo de carga óptima entre los refrigerantes CFC-12, HC-600a y HFC-134a en un refrigerador doméstico de última generación, Energía, septiembre, paginas, edición electrónica (137-146)2003.
16. Viego Felipe, V; et. al. Maestría Eficiencia Energética: Temas Especiales de Sistemas Eléctricos Industriales. Cienfuegos: Editorial Universo Sur, 2007.

Anexos

Tabla 1. Norma de gasto de lubricante para equipos de refrigeración

Tipo de compresor	Refrigerante	Capacidad frigorífica del compresor, en kW	Norma de gasto de aceite por cilindro del compresor, g/h
Horizontal	R-717 (Amoníaco)	81-175	35-40
		175-349	40-55
		349 y más	60-72
Vertical y en V o W	R-717 (Amoníaco)	Hasta 12	3
		12-28	7
		29-87	15-20
		87-465	25-35
Todos	Freones	Hasta 58	10-25
		58-175	25-35
		175-349	35-40

Tabla 2. Norma de gasto de agua para instalaciones frigoríficas, ($m^3/4\ 187\ kJ$)

Tipo de condensador	Refrigerante	Con instalación de enfriamiento de agua	Sin instalación de enfriamiento de agua
Evaporativo	R-717 (Amoníaco)	0,02-0,04	0,08-0,12
	Freones	0,003-0,006	0,01-0,02
Vertical, de tubo y carcasa	R-717 (Amoníaco)	0,03-0,05	0,1-0,25
	Freones	0,004-0,007	0,01-0,04
Horizontal, de tubo y carcasa	R-717 (Amoníaco)	0,05-0,06	0,2-0,25
	Freones	0,007-0,008	0,03-0,04

Capacidad frigorífica específica de masa.

$$q_o = 1080\ kJ/kg$$

Calor específico a extraer del condensador.

$$q_K = 1409\ kJ/kg$$

Trabajo adiabático específico de compresión.

$$W_o = 271\ kJ/kg$$

Cantidad de refrigerante en circulación.

$$G_o = 231,67\ kg/hr = 0,0643\ kg/seg$$

Calor total a extraer del condensador.

$$Q_K = 90,59\ kJ/seg$$

Trabajo adiabático total de compresión.



$$Wt = 17,42 \text{ kJ / seg}$$

Cálculo del volumen de desplazamiento.

$$V_R = 0,0321 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

$$\lambda_{ind} = 0,95$$

$$\lambda_w = 0,84$$

$$\lambda = 0,79$$

$$Vd = 0,0406 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

Determinación de la potencia necesaria del motor.

$$\eta_i = 0,80$$

$$Ni = 16,73 \text{ kW}$$

$$Nfr = 2,44 \text{ kW}$$

$$Ne = 19,17 \text{ kW}$$

$$Nmot = 21,52 \text{ kW}$$

Evaluación del ciclo ajustado a las condiciones de funcionamiento actual
(Considerando las temperaturas de ebullición y condensación de proyecto).

Condiciones iniciales:

$$t_o = -10^\circ \text{C}$$

$$t_K = 30^\circ \text{C}$$

$$P_o = 0,29 \text{ MPa}$$

$$P_K = 1,28 \text{ MPa}$$

$$Q_o = Q_{hor_{REAL}} + Q_{hor_{BA}} = 59772,12 \text{ kcal / hr}$$

$$Q_o = 250206,1 \text{ kJ / hr}$$

Datos obtenidos del diagrama

$$h_1 = 1758 \text{ kJ / kg}$$

$$h_1' = 1780 \text{ kJ / kg}$$

$$h_2 = 1994 \text{ kJ / kg}$$

$$h_3 = h_4 = 648 \text{ kJ / kg}$$

Capacidad frigorífica específica de masa.

$$q_0 = 1110 \text{ kJ/kg}$$



Calor específico a extraer del condensador.

$$q_K = 1346 \text{ kJ} / \text{kg}$$

Trabajo adiabático específico de compresión.

$$W_o = 214 \text{ kJ} / \text{kg}$$

Calor total a extraer del condensador.

$$Q_K = 84,26 \text{ kJ} / \text{seg}$$

Trabajo adiabático total de compresión.

$$Wt = 13,39 \text{ kJ} / \text{seg}$$

Volumen de desplazamiento.

$$V_R = 0,0256 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

$$\lambda_{ind} = 0,96$$

$$\lambda_w = 0,86$$

$$\lambda = 0,82$$

$$Vd = 0,0312 \text{ m}^3 / \text{seg}$$

Determinación de la potencia necesaria del motor.

$$Ni = \frac{13.39}{0.83}$$

$$Ni = 16,13 \text{ kW}$$

$$Nfr = 0.0312 \times 60 \text{ KN} / \text{m}^2$$

$$Nfr = 1,87 \text{ kW}$$

$$Ne = 16,13 + 1,87$$

$$Ne = 18 \text{ kW}$$

$$Nmot = \frac{18}{0.99}$$

$$Nmot = 18,18 \text{ kW}$$

Coeficiente de efecto refrigerante.

Para el ciclo real:



$$\varepsilon = \frac{q_o}{W_o} = \frac{1080}{271} = 3,98$$

Para el ciclo reajustado:

$$\varepsilon = \frac{1110}{214} = 5,18$$