



Facultad de
Ingeniería
Mecánica



Trabajo de
Diploma

Titulo: Caracterización
*energética del Frigorífico
Agropecuario
de Cienfuegos.*

Autor: Anthony Moona.

Tutores: Dr. Mario

A.lveraz-Guerra Plasencia.

Ing. Juan

Argudin.

Cienfuegos 2007

DECLARACION DE AUTORIDAD
UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS



“Carlos Rafael Rodríguez”

Sistema de Documentación y Proyecto.

Hago constar que el presente trabajo fue realizado en la Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez como parte de la culminación de los estudios en la especialidad de Ingeniería Mecánica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Universidad de Cienfuegos para los fines que estime conveniente, ya sea parcial o totalmente, que además no podrá ser presentado sin la aprobación de la Universidad de Cienfuegos.

Firma del autor.

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido según acuerdo de la dirección del centro y el mismo cumple los requisitos que debe tener un trabajo de este envergadura, referido a la temática señalada.

Información Científico Técnico.

Nombre y Apellidos. Firma.

Vice Decano.
Nombre y Apellidos. Firma.

Firma de los tutores

Sistema de Documentación y Proyecto.

Nombre y Apellidos. Firma.

Anthony Moona

Pensamientos.

“Una salida de la pobreza es a través de la educación.”

Sir Authur Lewis

“La precisión en el objetivo es el punto de partida para cualquiera triunfo.”

W. Clement Store

“El hombre del futuro debe estar bien preparando en el domino de la ciencia y la técnica y nunca perder de vista el sentido crítico antes los fenómeno de la realidad.”

Ché

“El corazón del hombre piensa su camino.”

Proverbios 16 versículo 9

Dedicatoria.

Este trabajo está dedicado a las personas que me han motivado y a mi propósito personal en la vida, especialmente:

♥ *A mis Padres: **Wilston y Mary Moona**, gracias para el cariño, sus apoyos económicos y el amor infinito.*

♥ *A mis Hermanos: **Alexsander, Joan, Antonia, Trevor, Elbert, Sherian, Vanessa y sus familias**, Gracias para sus apoyos y estímulos en toda mi vida.*

A las personas especiales en mi vida.

♥ *A mi amiga: Una amiga tan especial en mi vida **Enda Mansha Calixte**, gracias por el Cariño, el apoyo y el amor infinito. Te amo tanto.*

Agradecimientos.

*Agradezco a mi familia y amistades que me han ayudado durante los años de mis estudios, especialmente a: **Cornelius Geadon, Patrick Adams, Nicodemus Tarapasade, Rudely McFarlane y Cavahilo Stewart**; también a mis tutores **Dr. Mario Guerra e Ing. Juan Argudín** que me ayudaron muchísimo a pensar como ingeniero para confrontar el tema de este trabajo.*

Resumen.

Este trabajo fue realizado en el Frigorífico Agropecuario Cienfuegos, en que se caracteriza los sistemas de refrigeración con las particularidades de cada de sus componentes, proporcionado las características del amoniaco como agente refrigerante y analiza la influencia de sus componentes en la eficiencia energética. Se realiza un recálculo de la capacidad convencional de las cámaras y proporciona un nuevo resultado, además de analizar la utilización de dicha capacidad.

También se muestran los diagramas energéticos reales del Frigorífico Agropecuario de Cienfuegos desde el año 1999 hasta el 2005 y se ofrece una estrategia para disminuir el consumo de energía eléctrica.

Al final se obtiene una norma de consumo de energía eléctrica para cada mes del año y se hace una validación mediante un método analítico – estadístico.

Índice

Pág.

Resumen

Índice

| | |
|---|----|
| <i>Introducción.</i> | 11 |
| <i>CAPITULO I: Estudio Bibliográfico.</i> | 15 |
| 1.1.1 <i>Evaporadores.</i> | 16 |
| 1.1.2 <i>Compresores.</i> | 18 |
| 1.1.3 <i>Condensadores.</i> | 21 |
| 1.1.4 <i>Dispositivos de expansión.</i> | 24 |
| 1.2 <i>Caracterización del amoníaco como sustancia de trabajo en sistemas de refrigeración.</i> | 25 |
| 1.2.1 <i>El amoníaco, fluido del futuro.</i> | 25 |
| 1.2.1.1 <i>El amoníaco y el hombre.</i> | 27 |
| 1.2.2 <i>El amoníaco, excelente fluido frigorífico.</i> | 28 |
| 1.2.3 <i>El amoníaco y el medio ambiente.</i> | 29 |
| 1.2.4 <i>El interés tecnológico y económico del amoníaco.</i> | 30 |
| 1.3 <i>Particularidad de sistema de refrigeración por amoníaco.</i> | 31 |
| 1.3.1 <i>Introducción.</i> | 31 |
| 1.3.2 <i>Exigencias de la tubería.</i> | 32 |

| | |
|--|-----------|
| 1.3.3 Ubicación de los tubos. | 34 |
| 1.3.4 El aceite en los sistemas de amoniaco. | 34 |
| 1.3.5 Particularidad de los compresores. | 35 |
| 1.3.6. Particularidades de los absorbedores. | 37 |
| 1.3.7 Particularidad de condensadores. | 37 |
| 1.3.8 Particularidades del Evaporadores. | 39 |
| 1.3.9 Particularidades de Purgadores de aspiraciones. | 39 |
| 1.4 Eficiencia energética de los sistemas de refrigeración. | 40 |
| 1.4.2 Cómo mejorar el rendimiento energético en la refrigeración. | 42 |
| 1.4.2 Influencia de los componentes del sistema en la eficiencia energética. | 44 |
| Conclusiones Parciales. | 49 |
| CAPITULO II: Caracterización Tecnológica del Frigorífico Agropecuario de Cienfuegos. | 50 |
| 2.1 Descripción general. | 50 |
| 2.2 Descripción Técnica. | 52 |
| 2.2.1 Cámaras refrigeradas. | 53 |
| 2.3 Cálculos de comprobación | 54 |
| 2.3.1 Calculo de comprobación de la capacidad convencional de carga de cada cámara. | 54 |
| 2.3.2 Cálculos de comprobación de cargas térmicas. | 55 |
| 2.3.3 Cálculos de comprobación del número de enfriadores de aire. | 59 |

| | |
|--|-----------|
| 2.3.4 Cálculo de comprobación de número de Compresores. | 60 |
| Conclusiones parciales. | 63 |
| CAPITULO III: Caracterización Energética del Frigorífico Agropecuario de Cienfuegos. | 64 |
| 3.1 introducción. | 64 |
| 3.2 Diagramas energéticos del Frigorífico Agropecuario de Cienfuegos. | 64 |
| 3.2.1 Diagrama de Pareto | 64 |
| 3.2.2 Gráfico de consumo y producción en el tiempo ($E - P$ vs. T). | 67 |
| 3.2.3 Diagramas de consumo – producción (e vs. p) | 68 |
| Conclusiones parciales. | 81 |
| Conclusiones Generales. | 82 |
| Recomendaciones. | 83 |
| Referencias Bibliográficas. | 83 |
| Bibliografía. | 85 |
| Anexos | |

Introducción.

Desde el punto de vista de sus aplicaciones, la técnica del frío reviste un gran interés dentro de la evolución industrial a que obliga la continua mejora del nivel de vida de la humanidad. La refrigeración tiene un amplísimo campo en lo que respecta a la conservación de alimentos (Barcos congeladores de pescado en alta mar, plantas refrigeradoras de carnes y verduras), productos farmacéuticos y materias para la industria (Plantas productoras de hielo, unidades de transporte de productos congelados, barcos, aviones, trenes, camiones, etc.), en sistemas de acondicionamiento de aire y calefacción, etc.

Esto da una idea del grandísimo interés universal que reviste el frigorífico industrial desde el punto de vista económico, humano y social.

La utilización del frío es un proceso conocido ya desde muy antiguo; primeramente utilizando el frío natural: el hielo y la nieve. También, se hacían pozos profundos para conservar en ellos los alimentos a costa del subsuelo con temperatura medias inferiores a la del ambiente y se enfriaba el agua a costa de su evaporación de la superficie de materiales porosos que la contenían. Estos métodos han soportado la prueba del tiempo e incluso se utilizan en nuestros días, e incluso aportan vías para perfeccionar los métodos y medios artificiales actuales.

Fue en Sydney, Australia, en 1861 que se construyó la primera instalación para congelar carne industrialmente. Esta fue la consecuencia del trabajo de muchos inventores, ingenieros y científicos desde finales del siglo XVII. El primer frigorífico industrial con refrigeración mecánica se edificó en Boston, EEUU en 1881.

La refrigeración es el proceso mediante el cual, reduciendo la temperatura de alimentos y bebidas, aumenta la posibilidad de conservación. La justificación bioquímica del proceso es bastante compleja: básicamente el enfriamiento reduce la actividad metabólica de los productos orgánicos, disminuyendo su deterioro.

Conceptualmente es posible dividir la conservación de los alimentos vía refrigeración en dos grandes grupos:

Anthony Moona

Refrigeración propiamente dicha, que consiste en la disminución de la temperatura del alimento por encima de la temperatura de congelación del agua.

Congelación, que consiste en la disminución de la temperatura de los alimentos a temperatura por debajo de la temperatura de congelación del agua.

Se define la cadena del frío como la serie de elementos y actividades necesarios para garantizar la calidad de un alimento desde que se encuentra en su estado natural o precocinado hasta su consumo.

Los frigoríficos industriales son un eslabón importante en esta cadena del frío, ya que es el intermediario por excelencia entre las ventas mayorista y minorista y la exportación.

Desde el punto de vista energético los frigoríficos industriales están catalogados como grandes consumidores de energía, fundamentalmente eléctrica. En el contexto cubano estos representan una parte importante de la demanda eléctrica del sector industrial y son objeto de análisis en los estudios de políticas energética.

El Frigorífico Agropecuario de Cienfuegos esta destinado al almacenamiento de cítricos y papa de consumo de la población, utilizando como agente de refrigeración el amoniaco. La tecnología del mismo proviene de Europa del Este y se caracteriza como altamente consumidora de energía, lo que ubica a la empresa entre las 30 mayores consumidoras de electricidad del territorio cienfueguero, alcanzando valores de consumo anual del orden de 2052 MWH.

En los últimos años la administración de esta empresa ha emprendido varios trabajos encaminados a mejorar la eficiencia energética de la instalación, sin embargo, todavía no se cuenta con un sistema de gestión energética que permita el monitoreo y control de los diferentes portadores energéticos ni se cuenta con normas de consumo para valorar el desempeño de la misma.

De este análisis se deriva el problema científico de esta investigación:

Problema:

La administración del Frigorífico Agropecuario de Cienfuegos no cuenta con una caracterización actualizada del comportamiento energético de esa instalación ni de una norma de consumo para la energía eléctrica que le permita realizar un análisis, científicamente fundamentado, del consumo de ese portador energético.\

Hipótesis:

La utilización de las herramientas de la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía permitirá a la administración del Frigorífico Agropecuario de Cienfuegos caracterizar adecuadamente el comportamiento energético de la instalación y definir normas de consumo de electricidad para realizar evaluaciones del consumo de energía eléctrica con el fin de elevar r su eficiencia energética y reducir el impacto ambiental

Objetivo general:

Caracterizar el comportamiento energético del Frigorífico Agropecuario de Cienfuegos y elaborar un procedimiento para la obtención de una norma de consumo de energía eléctrica para cada mes del año **Objetivos específicos:**

1. Recopilar información bibliográfica y de Internet sobre las características técnicas y energéticas de los frigoríficos.
2. Realizar una caracterización del refrigerante amoniaco empleado en esta instalación frigorífica.
3. Hacer una caracterización tecnológica y energética del Frigorífico Agropecuario de Cienfuegos.
4. Realizar un análisis del aprovechamiento de las capacidades de almacenamiento de productos de las cámaras frigoríficas de esta instalación.
5. Analizar el comportamiento histórico del consumo de electricidad del frigorífico.
6. Recomendar estrategias para la disminución del consumo anual de energía eléctrica utilizando los diagramas energéticos.

7. Desarrollar y validar un procedimiento para la obtención de una norma de consumo de energía eléctrica para cada mes del año
8. Establecer un precedente en la administración del Frigorífico de Cienfuegos del uso de herramientas técnicas – organizativa para la administración eficiente de los portadores energéticos sin el empleo de recursos monetarios.

CAPITULO I: Estudio Bibliográfico

La obtención de bajas temperaturas (inferiores a la del ambiente) se puede lograr por varios principios físicos, algunos de estos son:

1. Expansión de un gas,
2. Compresión del vapor,
3. Cambio de estado de una sustancia,
4. Efecto Peltier,
5. Ciclo de adsorción,
6. Ciclo de absorción,
7. Otros.

El más utilizado en la industria es la compresión mecánica del vapor con el empleo de motores eléctricos para el accionamiento de los distintos equipos mecánicos.

Estos sistemas constan de varios componentes, los cuales se fabrican con distintas particularidades, las cuales se enuncian a continuación.

1.1 Descripción de los sistemas de refrigeración por compresión mecánica de vapor. Principales componentes.

Una instalación frigorífica, o sistema de refrigeración es un conjunto que incluye: un generador de frío, un sistema de enfriamiento y dispositivos auxiliares para obtener y utilizar el frío artificial en los procesos tecnológicos más diversos.

Estos componentes tienen una función específica en el sistema y se construyen de acuerdo a la aplicación que tendrán y a su capacidad.

1.1.1 Evaporadores

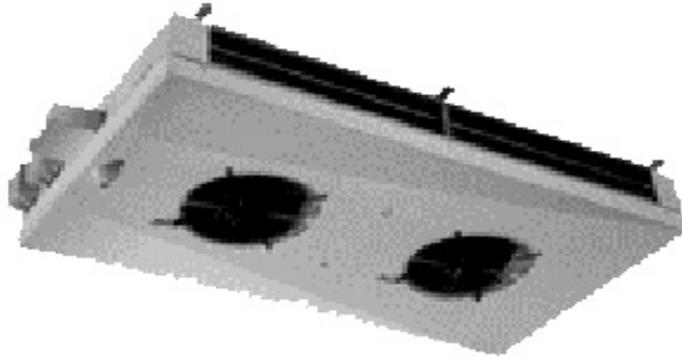


Figura 1.1 Evaporador

Intercambiador de calor ubicado dentro del recinto que se desea enfriar, al cual el refrigerante entra en estado líquido o mayoritariamente líquido a baja presión y por consiguiente a una baja temperatura de ebullición. Al entrar en contacto con las paredes del evaporador, comienza su vaporización con la consiguiente absorción de calor. Dicha absorción provoca el enfriamiento de las paredes del aparato y por consiguiente, el enfriamiento del medio que lo rodea. A la salida del evaporador nos encontramos con vapor refrigerante a baja presión el que se encuentra "cargado" con la energía térmica absorbida a las paredes del aparato y al medio ambiente. Como todo intercambiador de calor, este aparato deberá presentar el mínimo de resistencia al paso de calor desde el recinto o producto enfriado a las paredes del aparato y enseguida desde allí al refrigerante. Se puede afirmar que este aparato es el "productor de frío".

Tipos de evaporadores

Por la forma de construcción los evaporadores se pueden clasificar de la siguiente manera:

Evaporadores de tubo desnudo

Los evaporadores de tubo desnudo por lo general se construyen de tubo de acero o cobre.

El tubo de acero se usa en evaporadores grandes y en aquellos que trabajan con amoníaco como refrigerante, mientras que los de cobre son más pequeños y se les usa con cualquier refrigerante que no sea amoníaco.

Los evaporadores de tubo desnudo se fabrican en gran cantidad, forma y diseño y es muy común que sean fabricados a la medida según el caso específico.

Evaporadores de placa

Los evaporadores de superficie de placa son de varios tipos. Algunos son construidos de dos placas de metal realzado y soldado una con otra de tal modo que pueda fluir el refrigerante entre las dos placas.

”Este tipo particular de evaporador es muy usado en refrigeradores y congeladores caseros debido a que su limpieza es muy fácil, su fabricación económica y puede fácilmente construirse en cualquier forma requerida.” [1]

Evaporadores de tubo y aletas

Los evaporadores de tubo y aletas, son serpentines de tubo desnudo sobre los cuales se colocan placas metálicas o aletas.

Las aletas sirven como superficies secundarias absorbentes de calor y tienen el efecto de aumentar el área superficial externa del evaporador, mejorándose por lo tanto la eficiencia para enfriar aire u otros gases. Con los evaporadores de tubo desnudo, circula mucho aire sobre el serpentín o pasa a través de los espacios abiertos entre los tubos y no hace contacto con la superficie del serpentín. Cuando se agregan las aletas al serpentín, éstas se extienden hacia fuera ocupando los espacios abiertos entre los tubos y actúan como colectores de calor. Estos absorben calor del aire que ordinariamente no estaría en contacto con la superficie primaria y conducen este calor a la tubería.

1.1.2 Compresores

Después de que ha absorbido calor y se vaporiza en el serpentín de enfriamiento, el refrigerante pasa a través de la línea de succión al siguiente componente mayor en el circuito de refrigeración, el compresor. Este se clasifica frecuentemente como el corazón del sistema, porque hace circular el refrigerante a través del sistema y tiene dos funciones principales dentro del ciclo:

1. Recibir o remover el vapor refrigerante desde el evaporador, de tal manera que la presión y la temperatura deseada de evaporación se mantengan.
2. Incrementar la presión del vapor refrigerante a través del proceso de compresión y simultáneamente incrementar la temperatura del refrigerante de tal manera que pueda ceder calor al medio condensante del condensador.

Los compresores son usualmente clasificados de acuerdo con el principio de funcionamiento en tres tipos principales: alternativos, rotatorios y centrífugos.

“El compresor alternativo se utiliza en la mayoría de las aplicaciones domésticas, comerciales pequeñas y unidades industriales de condensación.” [2] Este tipo de compresor puede posteriormente clasificarse de acuerdo a su construcción, de acuerdo a si es abierto o accesible para el trabajo o completamente sellado, de tal manera que no sea posible darle servicio.

Tipos de compresores de acuerdo a su construcción

Compresor hermético

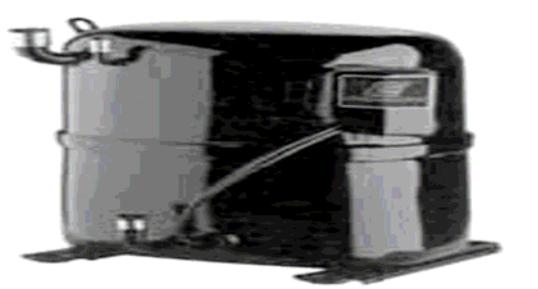


Figura 1.2 Compresor hermético

El propósito del hermético es el mismo que el del compresor abierto, bombear y comprimir el vapor, difiere en construcción en que el motor está sellado en la misma carcasa del compresor. La unidad completamente hermética tiene ventaja de que no hay eje saliente; por consiguiente no se necesita sello, y no hay posibilidad de fuga del refrigerante desde el compresor, o de que se introduzca aire en el sistema cuando está trabajando en vacío. Un compresor de este tipo tiene la característica, en nuestros tiempos actuales, de ser desechable, ya que sale más caro tratar de hacer una reparación interna que reemplazarlo por uno nuevo.

Compresor semi-hermético

Otro tipo de compresor es el que muestra la figura 1.3 combina el motor en la misma carcasa del compresor, pero a diferencia de la unidad hermética, este tipo suministra acceso al compresor para reparación. Esta unidad se conoce como “compresor semi-hermético”.

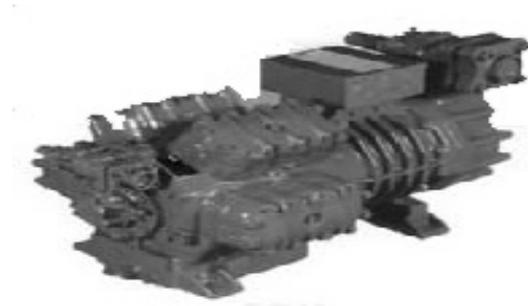


Figura 1.3 Compresor semi-hermético

Compresor rotativo



Figura 1.4 Compresor rotativo

Los compresores rotativos son clasificados así a causa de que ellos operan a través de la aplicación de una rotación, o movimiento circular, en vez de la operación alternativa descrita anteriormente. Un compresor rotativo es una unidad de desplazamiento positivo, y comúnmente puede usarse para bombear a mayor vacío que el compresor alternativo.

Existen tres tipos de compresores rotativos; pistón rodante, aleta rotatoria y lóbulo helicoidal. De estos describiremos sólo los más utilizados actualmente en los mercados de aire acondicionado y refrigeración.

Los compresores rotatorios del tipo paleta emplean una serie de paletas o álabes las cuales están equidistantes a través de la periferia de un rotor ranurado.

Compresor rotatorio helicoidal o tornillo



Figura 1.5 Compresor rotatorio helicoidal o tornillo

El compresor rotatorio helicoidal o de tornillo es un compresor de desplazamiento positivo en el cual la compresión se obtiene por el engranamiento de dos rotores ranurados helicoidalmente y colocados dentro de una cubierta cilíndrica equipada con lumbreras de entrada y de descarga.

Una de las características más importantes del compresor a tornillo es su control de capacidad la cual es variable en un valor entre el 100 y 10% de la misma. “Esto reduce el consumo de corriente del motor tornando su operación económica para cualquier tipo de instalación.” [3]

Compresor centrífugo

El compresor centrífugo consiste esencialmente de uno o una serie de ruedas impulsoras montadas en un eje de acero, contenidas dentro de una carcasa de hierro vaciado.

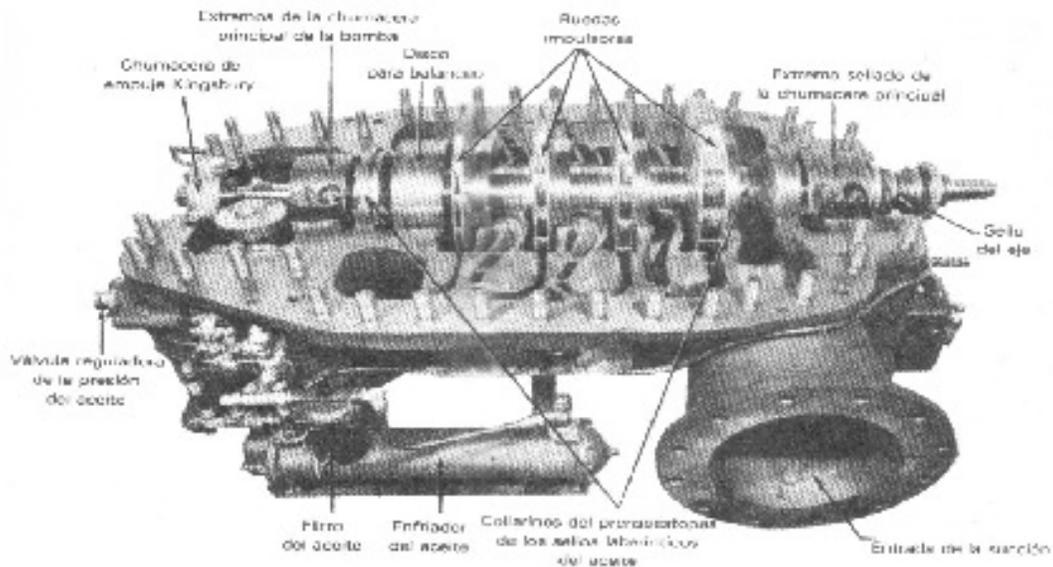


Figura 1.6 Compresor centrífugo

El número de ruedas impulsoras depende bastante de la magnitud de la carga termodinámica que el compresor deba desarrollar durante el proceso de compresión. Es común tener de dos, tres y cuatro ruedas (pasos de compresión). El máximo de ruedas impulsoras suelen ser 12.

Los principios de operación de un compresor centrífugo son similares a los de los ventiladores o bombas de agua centrífugas. El vapor a baja presión y baja velocidad proveniente de la tubería de succión es pasado por la cavidad interna u “ojo” de la rueda impulsora a lo largo de la dirección del eje del rotor.

1.1.3 Condensadores

El componente mayor en el sistema mayor de refrigeración, que sigue a la etapa de compresión, es el condensador. Básicamente, el condensador es otra unidad de intercambio de calor en el cual el calor extraído por el refrigerante en el evaporador, y

también el añadido al vapor en la fase de compresión, se disipa a un medio condensante.

Los condensadores pueden ser enfriados por aire, agua o por evaporación. Los refrigeradores domésticos generalmente tienen un condensador enfriado por aire, el cual depende del flujo de gravedad del aire que circula a través de él. Otras unidades enfriadas por aire usan ventiladores para sacar o extraer grandes volúmenes de aire a través de los serpentines del condensador.

Tipos de Condensadores

Por la forma de construcción los condensadores se pueden clasificar de la siguiente manera:

Condensador enfriado por aire

El condensador enfriado por aire, depende de un suministro relativamente amplio de “aire fresco” para que, con el fin de tener transferencia de calor del refrigerante en condensador al enfriarse, el aire deba estar a una temperatura a lo menos 15°C más baja que la del refrigerante. Con esta diferencia de temperatura, existe un intercambio de calor satisfactorio entre el refrigerante y el aire, con lo que el refrigerante comienza a ceder calor latente y el consecuente cambio de fase (vapor a líquido).

Los condensadores pueden estar cerca o lejos del compresor. Cuando el condensador está muy cerca del compresor y está montado en una base común con el compresor esto obtiene el nombre de “unidad condensadora” tal como muestra la siguiente figura.



Figura 1.7 Condensador enfriado por aire

La importancia que la unidad condensadora obtenga aire fresco, radica que si esta se encontrara en un lugar cerrado y sin renovación de aire, el calor producido por el compresor, el ventilador y el mismo calor irradiado por el condensador comienza a acumularse.

Algunos condensadores remotos enfriados por aire, equipados con ventiladores múltiples, tienen controles para el ciclaje de uno o más ventiladores durante el periodo de temperaturas de ambiente altas y bajas. El flujo de aire controlado a través del condensador permite mantener estable la temperatura y presión en el condensador y con esto hacer más eficaz el funcionamiento del sistema.

Condensador enfriado por agua

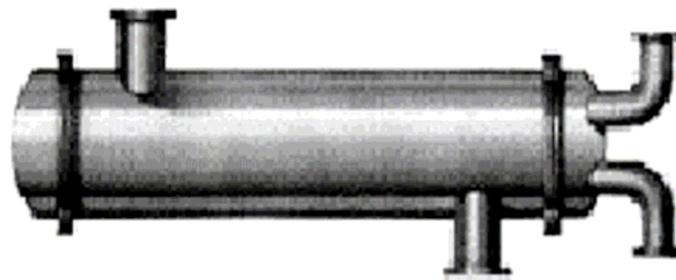


Figura 1.8 Condensador enfriado por agua de serpentín y carcasa.

Condensadores enfriados por agua permiten temperaturas y presiones de condensación bajas, también suministran mejor control de los toques de presión de las unidades de operación. Se clasifican en: carcasa y tubo, carcasa y serpentín y de doble tubo o de tubo en tubo.

El condensador enfriado por agua de carcasa y tubo consiste en una carcasa de acero, cilíndrica, que contiene varios tubos de cobre paralelos dentro de la carcasa. El agua se bombea a través de los tubos por medio de las conexiones exterior e interior en las placas de tubo.

1.1.4 Dispositivos de expansión



Figura 1.9 Dispositivos de expansión

Un componente fundamental e indispensable de cualquier sistema de refrigeración es el control de flujo o dispositivo de expansión. Sus principales propósitos son:

1. Permitir el flujo de refrigerante al evaporador a la razón necesaria para remover el calor de la carga.
2. Mantener el diferencial de presión apropiado entre los lados de alta y baja en el sistema de refrigeración.

Los tres tipos principales de dispositivos de expansión son:

1. Válvula de expansión automática.
2. Válvula de expansión termostática.
3. Tubo capilar.

“Existe también un dispositivo de expansión manual, que obviamente, no es apropiada para el funcionamiento automático de sistemas de refrigeración de baja capacidad, pero si son muy utilizadas en la refrigeración industrial.” [4]. A continuación analizaremos sólo dos dispositivos de expansión como elementos básicos para la refrigeración doméstica y comercial.

Válvula de expansión termostática.

Debido a su alta eficiencia y a lo fácil de adaptarse a cualquier tipo de aplicaciones de refrigeración, la válvula de expansión termostática, es probablemente la que más se

usa en la actualidad para el control del flujo de refrigerante. Su habilidad para proporcionar un amplio y efectivo uso de la superficie del evaporador bajo todas las condiciones de carga, la válvula de expansión termostática es prácticamente adecuada para control refrigerante en sistemas que están sujetos a grandes variaciones de carga.

Tubo capilar

El tubo capilar es el más simple de los controles de flujo refrigerante, consiste de una tubería de longitud fija, de diámetro pequeño, instalada entre el condensador y el evaporador.

El tubo capilar difiere de los otros tipos de control de flujo de refrigerante, en que no cierra ni detiene el flujo del líquido hacia el evaporador durante la detención del sistema. Cuando el compresor se detiene, se igualan las presiones en los lados de alta y baja a través del tubo capilar abierto y el residuo líquido que se tiene en el condensador pasa hacia el evaporador, de presión menor, donde sigue evaporándose, en forma más lenta hasta que nuevamente se inicia el ciclo del compresor. Por esta razón, es crítica la carga de refrigerante de sistemas que utilicen con tubo capilar. Para todos los casos la carga de refrigerante deberá ser la mínima necesaria para satisfacer las necesidades del evaporador y al mismo tiempo mantener la última porción del condensador con líquido. Cualquier exceso de carga resultará en un aumento de la presión de condensación. Sin embargo, es más importante el hecho de que todo el exceso de líquido pase al evaporador durante la detención del sistema, ya que al iniciarse un nuevo ciclo puede retornar líquido hacia el compresor con la posibilidad de dañar a este importante componente.

1.2 Caracterización del amoníaco como sustancia de trabajo en sistemas de refrigeración.

1.2.1 El amoníaco, fluido del futuro.

Lo abajo expresado, es un resumen de diversas publicaciones que la PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) distribuye en el mundo con

el fin de concientizar a la humanidad sobre la problemática de la destrucción de la capa de ozono y el aumento del efecto invernadero.

En 1974, Sherwood Rowland y Mario Molina, de la Universidad de California, afirmaron que los productos químicos sintetizados por el hombre, conocidos como clorofluorocarbonos (CFC), estaban perjudicando la capa de ozono estratosférica. Investigaciones posteriores corroboraron la teoría, y actualmente está demostrado que la capa de ozono estratosférico (que protege la tierra de los altos niveles de radiaciones ultravioleta del sol) está siendo destruida por la actividad de los hombres. Las sustancias que agotan la capa de ozono se usan en la fabricación de miles de productos. El Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono fue redactado bajo la dirección del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en septiembre de 1987. El Protocolo identificó las principales sustancias que agotan la capa de ozono y fijó límites para su producción en el futuro. En 1992, más de 80 países habían ratificado el acuerdo.

El proyecto es que el Protocolo se actualice continuamente cuando sea necesario, a tal efecto los signatarios se han reunido en Londres en 1990, Río de Janeiro en 1992, Copenhague en 1995 y en Kyoto en 1996, durante todos éstos años las pruebas científicas han demostrado que la capa de ozono se agota más rápido de lo que se suponía en un comienzo.

Los signatarios del Protocolo de Montreal acordaron reducir y eliminar el uso de los CFC, aunque no se hubieran desarrollado completamente sustitutas ni tecnologías alternativas. Industrias y fabricantes están comenzando a reemplazar los CFC por sustancias menos nocivas, pero un obstáculo importante en éste proceso de conversión es la falta de información actualizada y precisa sobre los problemas relacionados con los sustitutos de los CFC y las tecnologías sin CFC.

Las enmiendas de Londres al Protocolo reconocieron la ayuda financiera y económica que necesitarían los países en desarrollo y crearon el Fondo Multilateral Provisorio (IMOF) para proporcionársela, el PNUMA se encargó de las responsabilidades específicas para llevar a cabo el IMOF y creó el Programa Acción Ozono dentro del Centro de Actividades del Programa Industria y Medio Ambiente del PNUMA

(CAP/IMA) para realizar el intercambio de información y capacitación y para actuar como agencia distribuidora de información.

Una de las tareas más importantes de éste programa es asegurarse de que todos los que lo necesitan entiendan claramente los problemas relacionados con la sustitución de los CFC y sepan cómo obtener la información y asistencia que puedan necesitar para hacerlo.

1.2.1.1 El amoníaco y el hombre.

El amoníaco es utilizado en circuitos frigoríficos desde hace ya más de un siglo en máquinas a compresión mecánica de medianas y gran potencia (se estima que en el mundo hay alrededor de 300.000 instalaciones a compresión de amoníaco), y en máquinas frigoríficas a absorción de pequeñas potencias (refrigeradores domésticos) y a gran potencia (en especial para recuperación de calor industrial).

El amoníaco que es una sustancia natural, es producido en gran cantidad por sociedades químicas (producción mundial 120.000.000 de ton. en 1984), para diversos usos y en primer lugar para abono en usos agrícolas.

1) Se quema cuando su concentración en el aire está entre el 16 y el 25%. El punto de auto inflamación es cuando la mezcla tiene una temperatura de 651° C. Estos dos valores muestran que el riesgo de inflamación es muy limitado.

2) La dilución del NH₃ en el agua y las soluciones acuosas son fuertemente exotérmicas (riesgos de quemarse en los ojos en un medio contaminado por el NH₃).

3) Tiene un efecto sofocante. Se estima que el valor límite de exposición para el hombre es de 25 p.p.m. El olor característico crea una reacción de pánico a baja concentración en el aire. En altas concentraciones provoca dificultades respiratorias llegando al ahogo. La dosis mortal es de 30.000 p.p.m. El NH₃ no tiene acción tóxica recurrente en caso de inhalación por el hombre o los animales.

Los peligros que presenta el amoníaco que lo llevaron a clasificarlo como sustancia peligrosa, son hoy muy bien conocidos por los profesionales que han publicado las medidas a adoptar en caso de fugas accidentales.

De todas maneras es de hacer notar que el NH₃ que circula dentro de una instalación frigorífica que producirá una fuga de refrigerante al ambiente y el fuerte olor acusa

inmediatamente el punto de fuga, ya que con concentraciones de 5 ppm ya se detecta mediante el olfato. Es así que hay un mundo millares de depósitos de gran volumen para el almacenamiento de productos perecederos que funcionan con NH_3 .

1.2.2 El amoníaco, excelente fluido frigorífico.

Como fluido frigorífico el amoníaco presenta numerosas ventajas siendo las más importantes las siguientes:

- a) Posee buenas propiedades termodinámicas, de transferencia de calor y de masa, en particular dentro de las condiciones definidas de servicios y el coeficiente de actuación de máquinas es uno de los mejores. Las propiedades físicas del amoníaco lo convierten en un líquido con una transferencia de calor considerablemente superior a la de los refrigerantes fluorados más utilizados. Su capacidad es de cuatro a cinco veces mayor que la del R12 y el R22, cuyas capacidades de transferencia de calor se ven disminuidas en la práctica cuando se mezclan con el aceite. El amoníaco no se mezcla con el aceite.
- b) Puesto que el amoníaco no se mezcla con aceite, el diseño del equipo es más sencillo. No se necesitan tuberías verticales dobles y el aceite circulante no ocasiona caídas de presión. Además, la ampliación del equipo existente es muy sencilla, basta con una disposición adecuada de tuberías para poder añadir compresores y evaporadores o condensadores, sin tener que preocuparse por el retorno del aceite. De esta forma se pueden explotar las posibilidades de ahorro de energía que ofrece una planta de múltiples compresores.
- c) Es químicamente neutro para los elementos de los circuitos frigoríficos, salvo para el cobre y sus aleaciones que son materiales ampliamente usados en las instalaciones con fluidos halogenados. Es por eso que no se debe cargar amoníaco en los circuitos con refrigerantes halogenados. La capacidad de refrigeración del amoníaco es seis veces mayor que la del R22 y ocho veces mayor que la del R12. Esto implica un caudal másico significativamente inferior que, junto con la viscosidad ligeramente inferior del amoníaco, se traduce en

tuberías mucho menos costosas. Estas tuberías deben ser de acero o aluminio, materiales más baratos que el cobre necesario para los sistemas que transportan refrigerantes halogenados.

- d) El amoníaco no se mezcla con el aceite de lubricación.
- e) No es sensible a la presencia de aire húmedo o del agua. El agua es totalmente soluble en amoníaco que, por lo tanto, es muy tolerante. En una gran planta de refrigeración, resulta muy difícil detectar un contenido del 5% de agua a través de los manómetros y termómetros que se suelen adquirir para tales sistemas. Muchas instalaciones funcionan con un contenido de agua relativamente elevado sin inconvenientes importantes. Por consiguiente, no se precisan secantes de filtros, visores de líquido ni indicadores de humedad y la válvula de expansión nunca se congela.
- f) Es fácilmente detectable en caso de fuga así sea muy leve, de esta forma es muy difícil tener una falla del circuito por vaciado progresivo de la instalación.
- g) El amoníaco es el fluido frigorífico de menor costo en su valor de compra. Las máquinas frigoríficas a amoníaco son de un precio muy competitivo en inversión inicial y costo de funcionamiento (buen aprovechamiento de la energía). El amoníaco se fabrica para muchos usos además de refrigeración, factor que puede contribuir a mantener su precio bajo. En cualquier caso, el precio del amoníaco es muy inferior al coste de la mayoría de los refrigerantes fluorados, y además con cantidades significativamente inferiores se consiguen los mismos efectos. Si se compara con los nuevos refrigerantes (R134a, etc.) el amoníaco es muy competitivo.

1.2.3 El amoníaco y el medio ambiente.

El amoníaco es considerado para el futuro como uno de los sustitutos más eficaces a los fluidos reglamentados por el protocolo del Montreal.

De todos los sustitutos actualmente disponibles, el amoníaco es el único refrigerante que no afecta la capa de ozono (ODP=0) y no provoca efecto invernadero, siendo un

compuesto a base de átomos de hidrógenos y la molécula no tiene presencia de átomos de cloro o de bromo.

En caso de ser vertido en estado líquido se evapora en forma prácticamente instantánea, ya que su temperatura de ebullición a la presión atmosférica es a -34°C y es así que no hay riesgo de contaminación de aguas subterráneas o de superficie.

Es así que hoy queda establecido que los constructores son capaces de producir compresores a amoníaco de pequeña potencia y que equipamientos de acondicionamiento de aire a amoníaco pueden ser instalados en lugar de aquellos que funcionan con refrigerantes fluorados teniendo en cuenta que en la concepción de las máquinas para amoníaco no debe haber cobre ni sus aleaciones.

Así mismo se deberá considerar una separación entre los locales a acondicionar y la sala de máquina, y utilizar un circuito intermediario mediante un fluido calo portador.

1.2.4 El interés tecnológico y económico del amoníaco.

El interés tecnológico y económico del NH_3 es grande en su utilización como refrigerante y está ampliamente confirmado en la práctica cotidiana mediante millones de usuarios de grandes y medianas instalaciones.

Como desventaja es imposible de reemplazar por NH_3 el fluido de un circuito cargado con R22 en razón de los materiales utilizados en la construcción de estos equipos (cobre y sus aleaciones).

En caso de utilizarse NH_3 para instalaciones de aire acondicionado, por razones de seguridad, deberá usarse un fluido caloportador intermediario.

El desarrollo industrial de nuevos compresores aptos para asegurar pequeñas y medianas potencias frigoríficas con buenos rendimientos energéticos y bajos costos, así como la puesta a punto de equipamientos competitivos y económicos concebidos para ciertas aplicaciones que hasta el presente estuvieron reservados a los equipamiento con fluidos halogenados demandaron de algunas mesas a varios años según la naturaleza y las condiciones del servicio a asegurar. Es así que el Instituto Internacional del frío recomienda vivamente que las autoridades de los países inciten a los laboratorios públicos y a las sociedades industriales a desarrollar nuevas máquinas

aptas para funcionar con amoníaco de manera de ampliar el campo de utilización del amoníaco en condiciones de seguridad y rendimientos óptimos.

Ampliando las consideraciones vertidas, podemos acotar que firmas líderes mundiales tales como Dupont cambian el sistema a NH_3 . Por su parte Nestle Suiza ha creado una División Ecológica la cual determinó reemplazar los freones por NH_3 en todo el mundo. En E.E.U.U. el 81% de los almacenes frigoríficos utilizan amoníaco. En Alemania alrededor del 65% de todos los equipos que se produjeron en el año 1987 contenían amoníaco, aumentándose paulatinamente ésta cifra en los últimos años.

1.3 Particularidad de sistema de refrigeración por amoniaco.

1.3.1 Introducción.

En los sistemas industriales, como anteriormente se enunció, el amoniaco (refrigerante R717) constituye una propuesta económica. Aunque el amoniaco tiene excelentes propiedades termodinámicas, es considerado como tóxico a bajos niveles de concentración (de 35 a 50mg/Kg). No debe eliminarse el refrigerante líquido frío por ventilación hacia recintos cerrados que tengan llamas abiertas o chispas potentes. Una proporción del 16 al 25% en volumen en el aire, en presencia de una llama abierta, arde rápidamente y puede explosionar.

A veces se minimiza la importancia de las tuberías de amoniaco al poner énfasis especial en la selección de las partes principal de equipo. Para obtener una baja caída de presión y evitar las pérdidas de capacidad o de potencia causadas por unas tuberías inadecuadas, deben dimensionarse cuidadosamente las líneas de tubos.

Los tubos y recipientes oxidados de los sistemas ya viejos que contengan amoniaco, pueden dar origen a problemas de seguridad. En casos sospechosos deben utilizarse la fotografía de rayos X en oblicuo de las uniones soldadas de los tubos y la inspección ultrasónica de los recipientes para descubrir los defectos. Para reducir los riesgos, solamente deben utilizarse componentes, válvulas y piezas resistentes a la presión con certificado del suministrador, de acuerdo con los planos de montaje aprobados. No debe dejarse refrigerante líquido frío encerrado entre válvulas cerradas en una tubería, ya que puede calentarse y expansionarse hasta reventar las piezas componentes de la

tubería. Deben evitarse las pulsaciones rápidas y múltiples de amoniaco líquido en las partes componentes de la tubería, tales como las provocadas por la cavitación o los golpes de ariete debidos a pulsaciones por daños al equipo y a la tubería o heridas al personal. La mayor parte de los problemas de funcionamientos son ocasionados por no haber tomado precauciones adecuadas en el diseño, durante la construcción y la instalación. El amoniaco es un disolvente potente que elimina la suciedad, las incrustaciones, las arenillas o la humedad que hayan quedado en los tubos, en las válvulas y en los accesorios durante la instalación. Estas sustancias son arrastradas con el gas de aspiración hacia el compresor, constituyendo una amenaza para los cojinetes, los pistones, las paredes de los cilindros, las válvulas y el aceite de lubricación. La mayoría de los compresores van equipados con filtros en la aspiración y/o con filtros adicionales de tipos desechable en las tuberías, a causa de la enorme cantidad de residuos que pueden existir en la puesta en marcha inicial.

Un sistema que haya sido instalado de forma cuidadosa y adecuada, sin entrada de materias extrañas o líquidos en el compresor, puede funcionar de modo satisfactoria durante muchos años. Una vez instalada la tubería debe limpiarse con cepillo rotativo y con aire comprimido. A continuación, el sistema tuberías debe barrerse con aire o con nitrógeno comprimidos, antes de hacer el vacío y la carga. Las tuberías de descarga y de líquido deben probarse con aire a 2 MPa de presión, y la tubería de aspiración y del lado de baja a 1 MPa de presión.

1.3.2 Exigencias de la tubería.

Las siguientes recomendaciones se dan para la tubería de amoniaco. También deberán consultarse las normas u ordenanzas locales que se refieren a tuberías de amoniaco.

- ***Materiales recomendados***

Puesto que el cobre y los materiales que contiene cobre son atacados por el amoniaco, no se utilizan en los sistemas de tuberías para amoniaco. Para el amoniaco gaseoso y líquido son adecuados los tubos, accesorios y válvulas de hierro y de acero, con la adecuada calificación de presión.

La tubería de amoniaco debe estar de acuerdo con ANSI/ASME, (Code for Pressure Piping), que indica:

1. Las líneas de líquido de hasta 40mm no deben tener una calidad inferior a la de los tubos de acero al carbono.
2. Las líneas de líquido entre 50 y 150mm no será inferiores al tubo de acero al carbono.
3. Las líneas de vapor de hasta 150mm no será inferiores al tubo d acero al carbono.

- **Accesorios**

Las uniones, las curvas y las tees para tuberías roscadas tendrán una presión de proyecto mínima de 14MPa y se fabricaran en acero forjado. Los accesorios para estarán de acuerdo con el tipo de tubo empleado; es decir, accesorios de espesor normal para la tubería normal y accesorios de espesor extra en el caso de tubería de mayor espesor. Para soldar a tubos de 40mm o menores se usaran accesorios se usaran bridas ANSI ranuradas o machihembradas. Las bridas soldadas para el lado de baja deben tener una presión de proyecto de 1MPa. Las del lado de alta deben tener 2 MPa.

- **Unión de tubos**

Las uniones entre trozos de tubos o entre un tubos y un accesorio pueden ser roscados, si el diámetro del tubo es de hasta 32mm. Los diámetros a partir de los 40mm deben soldarse. Es mejor un sistema de tuberías totalmente soldado.

1. **Uniones roscadas:** para hacer herméticas las uniones roscados existen muchos compuestos. Las instrucciones del fabricante indican la compatibilidad y el método de aplicación. No hay que usar cantidades en exceso o aplicarlo sobre las roscas hembra, ya que el material en exceso puede contaminar el sistema.
2. **Uniones soldadas:** Los tubos deben cortarse y biselarse antes de soldar. El uso de tapones evita la entrada de virutas y partículas metálicas en el tubo. Para alinear los tubos y dejar la separación adecuada entre sus extremos, de modo que se logre guías de alineación.

3. **Uniones con juntas:** Con las bridas hay que usar juntas de fibras de 1,6mm. Antes de apretar los tornillos de las bridas de una válvula, un equipo de control o de una unión embridada, hay que alinear convenientemente la tubería y los orificios de los tronillos. Si se utilizan las bridas para enderezar la tubería, pueden transmitir esfuerzo a las válvulas adyacente, a los compresores y a los equipos de control, haciendo que los mecanismos se traben. Para evitar las fugas, al unir las bridas hay apretar uniformemente los tornillos.
4. **Uniones a testa:** Las uniones a testa con acero (14MPa) se utilizan en las tuberías con válvulas roscadas a los manómetros y controles de presión, y en uniones hasta los 20mm. Al apretar este tipo de unión, los dos tubos deben estar axialmente alineados. Para que sea eficaz, las dos partes de la unión deben encajar casi perfectamente.

1.3.3 Ubicación de los tubos.

La tubería, siempre que sea posible, debe estar al menos a 2,3 m por encima de suelo. Hay que situar cuidadosamente los tubos en relación con las demás tuberías y elementos estructurales, en especial cuando las líneas deben ir aisladas. La distancia entre los tubos aislados debe ser al menos igual a tres veces el espesor de aislamiento, en el caso de accesorios roscados, y a cuatro veces con accesorios embridados. La distancia entre la tubería y las superficies adyacentes deben ser las tres cuartas partes de estas cantidades.

Unos soportes situados cerca de los montantes verticales que van a los compresores el peso de la tubería. Los soportes de los tubos deben situarse uno de otro a no más de 2,5 a 3m, y a 0,6m de un cambio de dirección de la tubería. Los soportes deben diseñarse para sujetar la parte exterior de las tuberías aisladas. En general, basta con emplear manguitos de chapa metálica en la mitad inferior de aislamiento.

1.3.4 El aceite en los sistemas de amoniaco.

El aceite se mezcla con el amoniaco líquido solo en muy pequeñas proporciones. La proporción disminuye con la temperatura, y con esta disminución, el aceite se separa.

La evaporación del amoníaco aumenta el contenido relativo de aceite, haciendo que se separe más aceite (saturado de amoníaco a la presión reinante) forme una capa separada por debajo del amoníaco líquido.

A menos que el aceite se elimine periódicamente o de modo continuo en el punto en que se recoge, puede llegar a cubrir la superficie de transmisión de calor del evaporador, reduciendo las prestaciones. Si los tubos a los indicadores o los ramales a los controles de nivel nacen en puntos bajos (o se deja acumular el aceite), estos tubos contendrán aceite. El aceite de mayor densidad estará a un nivel más bajo que el amoníaco líquido. El drenaje del aceite, desde un punto de recogida adecuadamente situado, no es difícil, a menos que la temperatura sea baja y que el aceite no fluya fácilmente. En este caso, puede ser beneficioso el mantener el recipiente de aceite a mayor temperatura.

El aceite en el sistema está saturado de amoníaco a la presión reinante. Al reducirse la presión se separan los vapores de amoníaco originado espuma.

1.3.5 Particularidad de los compresores.

En general, los compresores de amoníaco se construyen con pasos de refrigeración moldeados internamente por fusión a lo largo de los cilindros y/o en las culatas. Estos pasos proporcionan espacio para la circulación de un medio de transmisión de calor, el cual hace mínimo el calor por conducción entre el gas caliente de descarga, el gas de aspiración entrante y el aceite en el cárter del compresor. El agua es el medio que generalmente se hace circular por estos pasos o camisa de agua. Se hacen circular unos 2 mL/s por kilovatio de refrigeración. El aceite en el cárter reducen las propiedades lubricantes del aceite.

Separadores de aceite

Una válvula de flotador para alta presión purga el aceite de nuevo hacia el cárter del compresor o hacia el recipiente de aceite hay que situar el separador de aceite tan alejado del compresor como sea posible, de modo que la tirada extra del tubo pueda servir para enfriar el gas de descarga antes de su llegada al separador de aceite. Esto reduce la temperatura del vapor de amoníaco y hace más eficaz el separador de

aceite para un retorno automático del aceite, es preferible utilizar una válvula de flotador independiente.

El amoníaco líquido no debe llegar al cárter. para evitar esto se recomienda montar una válvula (preferentemente automática) en el drenaje del separador de aceite, que esté abierta solo cuando la temperatura en el fondo del separador sea inferior a la temperatura de condensación.

Se recomienda montar un filtro en la tubería de drenaje agua debajo de la válvula de flotador de alta presión. El diámetro mínimo de la tubería de retorno de aceite será de 20mm.

Recipiente de Aceite

La válvula de flotador del separador de aceite drena el aceite en el recipiente, que mantiene una cantidad de aceite como reserva para los compresores. Los compresores deben ir equipados con flotadores en el cárter para regular el caudal de aceite a éste.

Válvulas de Retención en la Descarga

Las válvulas de retención en la descarga aguas debajo de cada separador de aceite, evitan que el gas a alta presión pase a un compresor inactivo y produzca la condensación en el mismo. Los compresores de tornillo deben equiparse con dos válvulas de retención para evitar el giro en sentido contrario: una debe estar en la aspiración del compresor y la otra aguas abajo del separador de aceite.

Si la temperatura en la sala de máquinas es menor que la temperatura de condensación, el gas puede fugarse a través de la válvula de retención y condensar en la línea de descarga y en el separador de aceite. Cuando esto ocurre, el amoníaco líquido va al compresor a través de la válvula de flotador situado bajo el separador de aceite. En este caso, es recomendable emplear un método directo de equilibrado entre las líneas de descarga y aspiración; el equilibrado se recomienda siempre que los compresores van a la intemperie o están en espacios sin calefacción. El equilibrado puede hacerse automáticamente, ya sea mediante una válvula solenoide de 6mm entre las líneas de aspiración y descarga, que abra cuando el motor de los compresores

pare, o bien mediante una válvula accionada por la presión de aceite del compresor. Puede hacerse manualmente abriendo una válvula manual de 6mm, entre las líneas de aspiración y descarga, siempre que el compresor se pare.

1.3.6. Particularidades de los absorbedores.

Tiene como función absorber y neutralizar las posibles fugas de amoníaco que se produzcan en el interior de la envolvente evitando que estas salgan al exterior. Está formado por un mueble de acero inoxidable diseñado especialmente, que incluye: depósito de agua, filtros especiales de alta absorción, ventilador, bomba de circulación de agua, filtro y válvula de llenado, mano reductor y nivel de agua.

1.3.7 Particularidad de condensadores.

La tubería adecuadamente proyectada alrededor de los condensadores y recipientes mantiene la superficie de condensación con la máxima eficacia, ya expulsa el amoníaco del condensador inmediatamente después de que condense, y realizar la purga del aire y otros incondensables.

El Condensador de Envolvente y Tubos y Recipiente de Pasos

Para mantener la presión de condensación, las plantas de amoníaco no necesitan un caudal de agua controlado. Normalmente, la presión es la adecuada para forzar el amoníaco a los diversos evaporadores sin regulación del agua. Debe evaluarse cada caso comparando los costes del agua con el ahorro en el coste de la energía gastada a baja presiones de condensación.

La tubería de agua debe disponerse de forma que los tubos del condensador siempre estén llenos de agua. En los cabezales del condensador hay que prever purgas de aire y disponer de válvulas manuales para el purgado.

La tubería de agua debe disponerse de forma que los tubos del condensador siempre estén llenos de agua. En los cabezales del condensador hay que prever purgas de aire y disponer de válvulas manuales para el purgado.

Los recipientes deben estar por abajo del condensador de modo que la superficie de condensación no quede inundada por el amoniaco. La tubería debe proporcionar primero, un drenaje libre del condensador y segundo, una altura de amoniaco por encima de la primera válvula exterior al condensador, que sea mayor que la caída de presión en la válvula.

Condensadores horizontales de Envolvente y Tubos en Paralelo.

La longitud de las líneas horizontales para vaciado de líquido a recipiente debe ser la menor posible y no debe tener ningún purgador. El equilibrio entre las envolventes se consigue manteniendo la velocidad del líquido en la línea de vaciado por debajo de 0,5m/s.

Condensadores Verticales de Envolvente y Tubos con Recipientes de Compensación.

Una conexión de equilibrado libera la presión del gas por encima del nivel de líquido. Para tener drenado el condensador cuando el recipiente esta en un ambiente más caliente que la temperatura de condensación. Esta conexión también proporciona una presión de gas sobre el líquido del recipiente, cuando éste esta en un ambiente más frío que la temperatura de condensación. El dimensionado de la tubería de equilibrado es función de la superficie expuesta entre el ambiente del recipiente y la de condensación.

Funcionamiento de Condensadores Evaporativos.

Cuando dos o más condensadores (de cualquier tipo) descargan en una línea de líquido común cada una de las tuberías del líquido debe estar suficientemente alta antes de su unión. Como para permitir que haya una deferencia de nivel de líquido que equilibre cualquier deferencia en la caída de presión en los condensadores, sin llenar parte de un condensador.

1.3.8 Particularidades del Evaporadores.

Para mantener el espacio enfriado a la temperatura deseada y también para proteger adecuadamente el compresor de los golpes de amoníaco líquido procedentes del evaporador, se necesitan una tubería del evaporador y un control adecuados.

Serpentines tubulares.

La altura relativa del serpentín y las tuberías de aspiración debe permitir que la aspiración del serpentín caiga vertical al colector de aspiración. Esto evita que el líquido que pueda estar en el colector afecte al bulbo de la válvula de expansión. El grado de la apertura de la válvula de expansión viene gobernado por la presión del refrigerante a la salida de la válvula de expansión y por la temperatura de aspiración a la salida de serpentín. Para un funcionamiento correcto, el gas aspirado el serpentín debe estar recalentado. Por consiguiente, el diseño del serpentín tubular debe prever un 15% de superficie extra para recalentar el gas de aspiración. Si la caída de presión del refrigerante en el serpentín es excesiva, hay que emplear una válvula de expansión con equilibrado exterior.

Unidades Evaporadoras Con aire, de funcionamiento inundado.

El interruptor del flotador inferior de la columna de nivel en este recipiente controla la apertura y el cierre de la válvula solenoide en la línea de líquido, regulado el amoníaco que va a la unidad para mantener el nivel de líquido. La válvula de expansión manual aguas debajo de la válvula solenoide debe ajustarse de modo que no suministre amoníaco al recipiente a un ritmo superior al que pueda aceptar el mismo sin que aumente la presión de aspiración de gas del recipiente en más de 6 a 14 kPa (manométrica).

1.3.9 Particularidades de Purgadores de aspiraciones.

Para asegurar que el gas de aspiración este desprovisto de líquido en cualquiera estado de funcionamiento, todos los sistemas deben tener un purgador de aspiración correctamente proyectado de acuerdo al objeto. Tal purgador intercepta la mayor parte

de la materia extraña, así como el líquido. No hay que exceder de un límite de velocidad del vapor para una separación efectiva del líquido y el gas.

Purgadores de Aspiración Vertical con bomba

Unos interruptores de flotador en una columna de nivel al lado del purgador pueden poner en marcha y arrancar la bomba de amoníaco líquido, hacer sonar una alarma si hay exceso de líquido y, a veces, parar el compresor. Cuando el nivel del líquido el purgador de aspiración llega al interruptor de flotador intermedio, la bomba de amoníaco arranca y reduce el nivel de líquido hasta el interruptor inferior, el cual para la bomba de amoníaco. Una válvula de retención en la tubería de descarga de la bomba de amoníaco evita que el gas y el líquido retrocedan a través de la bomba cuando esta no funciona. Según el tipo de válvula de retención que se emplee, algunas instalaciones tienen dos extras ante el giro en sentido contrario de la bomba.

Sistemas de Retorno a Presión.

Puede trasvasarse el líquido desde el purgador de aspiración al lado de alta vaciando el purgador de aspiración principal a un purgador auxiliar situado por debajo. Cuando el purgador auxiliar de aspiración queda parcialmente lleno se amoníaco líquido, se cierra. A continuación se lleva gas de alta presión al purgador auxiliar, para aumentar suficientemente la presión, de modo que el líquido pueda devolverse al recipiente de alta presión por gravedad o mediante una bomba de amoníaco con altura de bombeo moderada. Debe preverse la adecuada protección con una válvula de descarga.

1.4 Eficiencia energética de los sistemas de refrigeración.

1.4.1 Políticas de eficiencia energética. Tendencias globales.

El desarrollo de una economía mundial con mayor eficiencia energética es un primer paso en el camino hacia el desarrollo de la energía sostenible, Los principales impulsores de las políticas de eficiencia energética a largo plazo son la seguridad del suministro de la energía, la eficiencia de las economías nacionales, las preocupaciones

ambientales - incluyendo el calentamiento global - y, en los países en desarrollo, las limitaciones de inversión en el sector de oferta energética. El enorme potencial de mejoras de eficiencia energética en todas las etapas de producción y uso de la energía es ampliamente reconocido, pero alcanzar este potencial sigue siendo un desafío casi mundial.

Los objetivos del Protocolo de Kyoto, y más recientemente las limitaciones sobre el suministro de energía, han incrementado la prioridad otorgada a las políticas de eficiencia energética. Casi todos los países desarrollados están implementando nuevos instrumentos, adaptados a sus circunstancias nacionales. Estos países están implementando regulaciones para impedir un incremento demasiado rápido de su demanda de electricidad: además del rol preeminente de los instrumentos del mercado (acuerdos voluntarios, etiquetas, difusión de la información), las medidas de regulación siguen siendo efectivas donde el mercado no da las señales adecuadas (edificios, electrodomésticos).

En países menos desarrollados, la eficiencia energética es un tema importante, pero a menudo con diferentes fuerzas impulsoras en comparación con los países industrializados. En estos países, la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación local probablemente no llega a ser una prioridad: a menudo en primer lugar se encuentra reducir el requisito de inversiones en energía y utilizar del mejor modo posible las capacidades de oferta existentes.

Mejorar la eficiencia energética, por ejemplo en el uso de la electricidad, tendrá dos beneficios:

- Proveer suministro a una mayor cantidad de consumidores con la misma capacidad de producción de electricidad, lo cual a menudo es la principal limitación en muchos países de África y Asia;
- Hacer más lento el crecimiento de la demanda de electricidad, y reducir la necesidad de inversión para la expansión del sector eléctrico; esto es especialmente importante

en países con elevado crecimiento de la demanda de electricidad, tales como China y muchos países del sudeste asiático.

Ciertamente, en todo el mundo, la intensidad energética de la industria es 7 veces más elevada que la del sector de servicios. En otras palabras, requiere siete veces la cantidad de energía utilizada para producir una unidad de actividad en la industria en comparación con el sector de servicios. En los países desarrollados, dependiendo de la región, la diferencia en estas intensidades es de alrededor de 4 a 6,5. El efecto de los cambios estructurales es especialmente importante en países con un rápido crecimiento económico. La participación de la industria en el PBI varía del 25% en Europa Occidental y América del Norte, a 30% para el promedio mundial y a alrededor del 50% en China. La participación de los servicios se encuentra en el rango del 30% en China, y de 60-70% en los países de la OCDE, con un promedio mundial de alrededor del 50%.

Para ralentizar y revertir esta tendencia, muchos países han introducido programas de eficiencia energética. Entre los diferentes instrumentos disponibles, los programas de etiquetado, los estándares mínimos de desempeño energético (MEPS) y los sistemas de gestión energética han resultado ser los más eficaces.

1.4.2 Cómo mejorar el rendimiento energético en la refrigeración.

El uso ineficaz de la energía es una pérdida de un recurso valioso y contribuye al calentamiento global. El mayor impacto del efecto de calentamiento global de los sistemas de refrigeración proviene del proceso de generación de la energía consumida en ellos. Solamente una pequeña proporción viene del uso de ciertos refrigerantes.

La refrigeración es la ciencia de lograr un flujo del calor "ascendente" desde un punto de baja a otro a alta temperatura. Un sistema de refrigeración extrae calor de la sustancia que es refrigerada (depósito frío) y lo rechaza al ambiente, a una temperatura más alta (depósito caliente) según se indica en el Figura 1.10. Esto es análogo al bombeo del agua a un tanque de almacenaje elevado. El consumo de energía de un

refrigerador es directamente proporcional al índice de la extracción del calor (cantidad de agua bombeada) y a la elevación de la temperatura a través de la cual se rechaza el calor (la altura a la cual se bombea el agua).

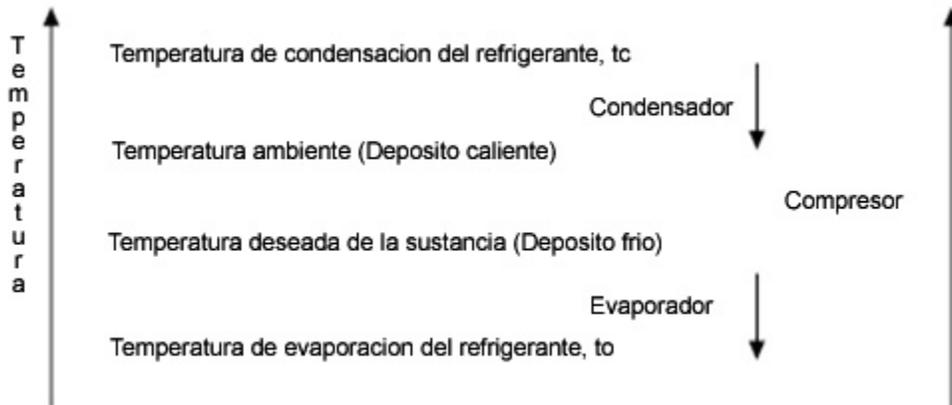


Figura 1.10 Diagramas de temperaturas y Flujo de Calor para Sistemas de Refrigeración.

El rendimiento energético de un sistema de refrigeración se expresa generalmente como un coeficiente de funcionamiento (COP) que es el cociente del flujo de a tarifa de extracción del calor al consumo de la energía.

Para cualquier tipo de sistema de refrigeración que se esté utilizando, es fundamental reducir al mínimo las ganancias de calor y guardar la diferencia entre T_C (temperatura de condensación) y T_0 (temperatura de evaporación) tan pequeña como sea posible.

La reducción al mínimo de las ganancias de calor se logra aislando el cuarto refrigerado y las partes de baja temperatura del sistema de refrigeración, reduciendo al mínimo la infiltración del aire ambiente (e.j. hermeticidad y aperturas de la puerta) y la reducción el consumo de energía en las aplicaciones de la refrigeración (ejemplo los ventiladores y los montacargas). La reducción ($T_C - T_0$) se logra mediante la maximización del funcionamiento del intercambio térmico del condensador y del evaporador y la reducción al mínimo de las caídas de presión del refrigerante en las tuberías de succión y descarga.

1.4.2 Influencia de los componentes del sistema en la eficiencia energética.

Refrigerante

Muy pocas sustancias tienen características apropiadas para un refrigerante y, de éstos, poco han pasado la prueba del tiempo y continúan siendo utilizados como refrigerantes. El figura 1.11 demuestra algunas de las sustancias que se han utilizado como refrigerantes y de cómo su uso ha variado en un cierto plazo.

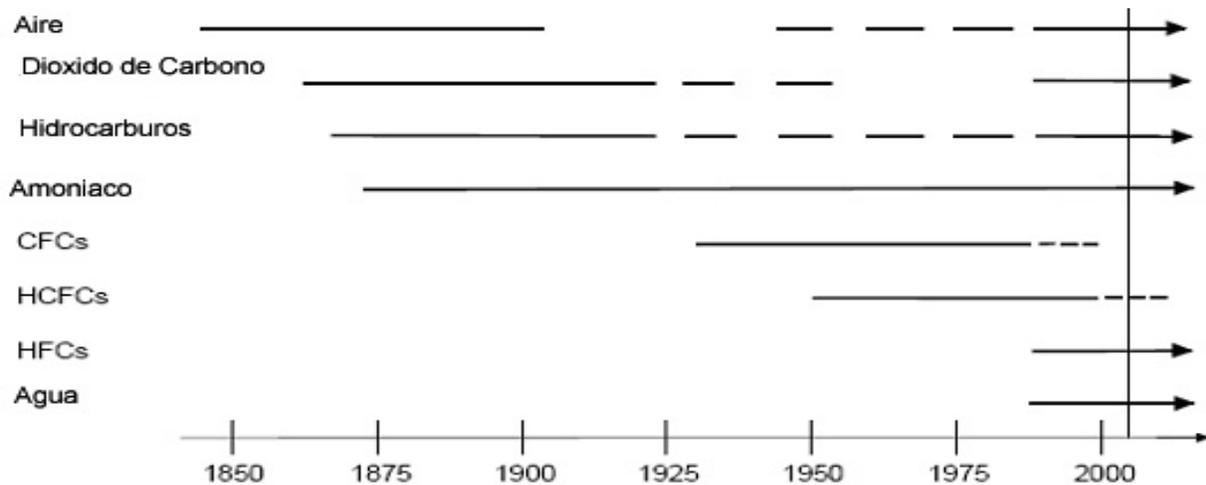


Figura 1.11 Diagramas de Refrigerantes Típicas y su uso histórico.

No hay ningún refrigerante ideal. La selección de un refrigerante es un compromiso entre muchos factores incluyendo la facilidad de la fabricación, costo, toxicidad, inflamabilidad, consecuencias para el medio ambiente, el impacto corrosivo y las características termodinámicas así como rendimiento energético. Una característica dominante es la relación de presión/ temperatura. En general, el rendimiento energético es limitado por el punto crítico del refrigerante (la temperatura sobre el cual no puede condensar).

Las buenas características de transporte e intercambio térmico son también importantes para el rendimiento energético pues reducen costos y permiten que diferencias más pequeñas de temperatura sean empleadas en evaporadores y condensadores.

En general, los refrigerantes de peso molecular y viscosidad baja tendrán las mejores características.

Compresores

Los compresores perderán eficiencia si la elevación de la temperatura es más alta que la necesaria y también si existe líquido refrigerante en el vapor de la succión o si el vapor de la succión llega a ser demasiado caliente. El mantenimiento del compresor, siempre que sea posible, y la preservación de la calidad del lubricante son importantes para mantener el rendimiento energético.

Para algunos tipos de compresores (particularmente de tornillo y centrífugo) el rendimiento energético a carga parcial es bajo comparado con el correspondiente a carga total, entonces la operación sostenida a carga parcial debe ser evitada. La tecnología velocidad variable y los sistemas de control mejorados pueden reducir al mínimo el consumo de la energía y por tanto la disminución del gasto monetario.

Condensador

Para mantener la temperatura de retorno tan baja como sea posible, la transferencia del calor en el condensador debe ser maximizada y la temperatura media de enfriamiento minimizada.

Los condensadores evaporativos son a menudo los más eficientes porque rechazan el calor a la temperatura de bulbo húmedo del aire ambiente. Por ejemplo, el aire húmedo a 25°C y humedad relativa del 60% tiene una temperatura de bulbo húmedo de 16°C. Sin embargo, requieren mantenimiento cuidadoso y evitar la contaminación por Legionella.

Los condensadores refrigerados por agua combinados con las torres de enfriamiento, también aprovechan la temperatura ambiente de bulbo húmedo, pero hay un incremento adicional de la temperatura para conducir el calor del refrigerante al agua,

así que la temperatura de rechazo del calor del refrigerante es generalmente más alta. El uso del agua puede ser excesivo si una torre de enfriamiento no se utiliza.

Los condensadores enfriados por aire son generalmente el método menos eficiente pues, rechazan calor a la temperatura de bulbo seco del aire, que es generalmente perceptiblemente más alta que la temperatura del bulbo húmedo o del agua. Sin embargo, por los sistemas pequeños se utilizan, porque son baratos, simples y requieren comúnmente poco mantenimiento.

Es importante mantener todos los tipos de condensadores limpios y libres de suciedad. Los condensadores que rechazan calor a la atmósfera necesitan mucho aire fresco y se deben proteger contra cualquier tendencia a que el aire recircule de nuevo a la entrada del condensador. Los sistemas que funcionan con la presión de succión del refrigerante menor que la atmosférica (ejemplo. amoníaco a baja temperatura o aire acondicionado con HCFC-123) deben utilizar purgadores de aire para eliminar los gases no condensables del refrigerante.

Dispositivos de expansión

Muchos dispositivos de expansión requieren una diferencia significativa de presión que les permita una operación adecuada. Por tanto, la presión de condensación se mantiene a altos niveles de forma artificial, aun a baja temperatura ambiente. Todo esto se debe a la válvula de expansión termostática convencional, la cual a menudo se selecciona entre otros dispositivos de expansión por su muy bajo costo. Una solución es utilizar válvulas de expansión controladas electrónicamente.

Evaporadores

Los evaporadores se deben diseñar para funcionar con la diferencia de temperatura mínima económica, de modo que la temperatura del refrigerante para la extracción del calor pueda ser tan alta como sea posible para una temperatura dada de la sustancia a refrigerar. El aumento de la temperatura de extracción del calor también reduce el tamaño del compresor requerido.

Así como el tamaño del evaporador, aspectos tales como la distribución del refrigerante, la circulación y velocidad adecuadas, el uso de superficies aleteadas, las velocidades del aire (para los enfriadores de aire), pueden afectar perceptiblemente el rendimiento energético.

Los refrigeradores que funcionan a temperaturas bajo cero se deben descongelar regularmente para restaurar su funcionamiento. La descongelación por resistencia eléctrica tiene que “pagarse” por lo menos dos veces, la primera para poner el calor de la resistencia eléctrica en el enfriador y la segunda para sacarlo hacia fuera otra vez. La descongelación por agua, gas caliente y por la circulación de un líquido caliente a través del enfriador, son todas potencialmente más eficientes. Sin embargo, con cualquier sistema, lo más importante es optimizar la frecuencia y la duración del desescarche para evitar una innecesaria descongelación.

La interconexión.

La eficiencia puede disminuir si se instalan tubos de tamaño incorrecto o se disponen de maneras que causan caídas de presión innecesarias.

La importancia de los controles.

Los componentes bien diseñados no funcionarán eficientemente a menos que se controlen correctamente. El rendimiento energético no ha sido siempre la primera consideración al seleccionar controles eficaces. Si es posible, las opciones siguientes del control se deben evitar para maximizar el rendimiento energético:

- el sobredimensionado de la válvula de descarga de los compresores de tornillo de gran tamaño;
- la interconexión de la descarga con la succión de compresores;
- válvulas de paso entre los evaporadores y los compresores;
- control del evaporador por cierre del suministro de refrigerante

- los controles de presión en el cabezal del condensador solo cuando sean necesarios.

Conclusiones Parciales.

- Los frigoríficos industriales poseen una gran importancia desde el punto de vista económico, humano y social, por su papel en la conservación de alimentos.
- El ciclo de refrigeración por compresión mecánica del vapor es el más utilizado en las instalaciones de refrigeración industrial.
- En la actualidad los sistemas de refrigeración industriales utilizan principalmente al amoníaco o tienden a emplearlo como agente refrigerante por sus buenas propiedades termodinámicas, menor costo económico en comparación con los hidrocarburos halogenados o sus sustitutos y porque no daña la capa de ozono ni provoca efecto invernadero.
- Desde el punto de vista energético, los frigoríficos industriales están catalogados como grandes consumidores de energía, fundamentalmente eléctrica. En el contexto cubano estos representan una parte importante de la demanda eléctrica del sector industrial y son objeto de análisis en los estudios de eficiencia energética.
- Los principales impulsores de las políticas de eficiencia energética a largo plazo son la seguridad del suministro de la energía, la eficiencia de las economías nacionales, las preocupaciones ambientales - incluyendo el calentamiento global - y, en los países en desarrollo, las limitaciones de inversión en el sector de oferta energética.

CAPITULO II: Caracterización Tecnológica del Frigorífico Agropecuario de Cienfuegos.

2.1 Descripción general.

La Sociedad Mercantil Cubana Cítricos Caribe, S.A. (Código de Identidad: 131.0.4910) perteneciente a la Corporación Nacional del Cítrico (Hoy Grupo Empresarial Frutícola) del MINAGRI se constituye en el año 1994. La Junta General de Accionistas de Cítricos Caribe, S.A. crea y constituye en marzo del año 1999 la Filial Frigorífico Cienfuegos como una entidad de la asociación con independencia económica. La instalación se ubica en la Zona Industrial No. 2 en la carretera de O' Bourke perteneciente al Consejo Popular Pueblo Griffó – Pastorita – O' Bourke en la zona costera del lóbulo norte de la Bahía de Cienfuegos de la ciudad del mismo nombre, Cienfuegos.

El área urbana del FRIGORÍFICO, limita por el sur o frente con el muelle de la Empresa de Servicios Portuarios del Centro (ESPC) del MITRANS, por el norte o fondo con áreas de almacenamiento a cielo abierto de la ESPC, por el oeste con espacios vacíos de la propia empresa y por el este, también, con áreas de almacenamiento a cielo abierto de la ESPC.



Figura 2.1. Ubicación del Frigorífico Agropecuario de Cienfuegos

Coordenadas Cartográficas del FRIGORIFICO:

X: 553 821

Y: 260 247

X: 554 040

Y: 260 275

Coordenadas Geográficas de posición del FRIGORIFICO:

Aproximadamente 22° 10' 22" Latitud Norte

88° 28' 53" Longitud Oeste

La entidad tiene sus antecedentes en los años 80 cuando por decisión del Gobierno, el PCC del territorio y el MINAG, comienza el proceso constructivo de un frigorífico. En marzo del año 1984 se inaugura como tal con 8 cámaras de refrigeración para el almacenamiento de papa para el consumo de la población nacional y la exportación hacia la extinta URSS de los cítricos como fruta fresca. El agente de refrigeración siempre ha sido el amoniaco y es de tecnología de Europa del este de las décadas del 70 y 80 con torres de agua de enfriamiento altamente consumidoras de energía y agua, posteriormente hace alrededor de 5 años se convirtieron a torres del tipo Autoventiladas, las que no consumen alta energía eléctrica, pero sí tienen un alto consumo de agua.

El Frigorífico se construye en las áreas recuperadas al mar por la ampliación del puerto de Cienfuegos, con una superficie total de 29638.08 m², de ella ocupada (construida) 15292.55 m². Está construida de paredes de hormigón prefabricado, pisos y de techo de placa de hormigón también, el área que ocupa el frigorífico, que constituye el objeto de obra fundamental, es de 12558 m².

2.2 Descripción Técnica.

“El frigorífico Cienfuegos cuenta para el enfriamiento y conservación de los cítricos con 7 compresores AUU 400 (USSR) y 2 compresores AU 200 (USSR), cada uno directamente acoplado a un electromotor.

La potencia frigorífica de cada AUU 400 es de 380000 kcal/h a 720 r.p.m y la de los AU 200 es de 200000 kcal/h a 720 r.p.m. Si ($t_e = - 8^{\circ}\text{C}$; $t_k = + 35^{\circ}\text{C}$).” [5].

En la sala de máquinas se tiene instalados además los siguientes accesorios.

- Recibidores de circulación de 7m^3 c/u de capacidad donde se almacena el refrigerante que se bombeará a las cámaras, la cantidad es 2.
- Recibidores lineales de líquido condensado, acumulan el refrigerante procedente de los condensadores y los distribuye según la demanda de nivel de líquido en los recibidores de circulación automáticamente, o directamente a las cámaras por un mecanismo de emergencia, cantidad 2 unidades de $3,5\text{m}^3$ c/u.
- Separador de aceite general para todo el sistema de tuberías compresor-condensador, situado en la línea, de descarga, cantidad 1 unidad SA-300.
- Colector de aceite general del sistema que incluye la parte de alta presión; el aceite llega a él al drenar el separador de aceite, los tanques de circulación y los recibidores lineales de líquido.
- Purgadores de aire instalados sobre los recibidores horizontal de $3,5\text{m}^3$ cuyo fin es purgar el aire y gases incondensables de la parte superior de los recibidores lineales.
- Ocho bombas de amoníaco WIIT alemanas GP-51 para el bombeo de refrigerante a -10°C desde los recipientes recirculadores, hasta los difusores en cámaras. De estas bombas seis son de trabajo normal y dos de repuesto o reserva.

También en la Sala de Máquinas se encuentra un Tanque de Lubricación o de Restitución de Aceite el cual de forma semiautomática completa el aceite de los

compresores. Contigua a la Sala de Máquinas se encuentra el Cuarto de Pizarras y en el otro extremo, el Taller de Mantenimiento; en el área exterior se encuentra el cuarto de tratamiento de agua, en el cual se tratan permanentemente las aguas que se utilizan con fines industriales (condensación, enfriamiento de compresores etc.)

También en el área exterior, anexo a la Sala de Máquinas están instalados los condensadores; torres de enfriamiento y las bombas de agua del sistema de condensación, así como del sistema de enfriamiento de los compresores.

Hay siete torres de enfriamiento para enfriar el agua caliente que se produce en el proceso de condensación de amoniaco. El trasiego de agua caliente hacia las torres de enfriamiento y el del agua fría hacia los condensadores lo realizan 6 pares de bombas. Hay instaladas 7 pares de bombas a fin de dejar en reserva un par de éstas. Cada torre tenía instaladas en su parte superior, 6 ventiladores dobles duplex de 1 3/4" que impulsaban el aire que entraba por las ventanillas de la torre a fin de crear un movimiento a contra corriente entre el aire que sube y el agua que cae dentro de la torre y producir el fenómeno de enfriamiento. En la actualidad estas torres fueron modificadas por un proyecto cubano y se convirtieron 2 torres en Autoventiladas, por lo que se les eliminaron los ventiladores de aire de todas.

En el área exterior de la fachada de la sala de máquina, cuarto de pizarras y baños se encuentra ubicados en la estación de cargas de refrigerantes por donde se introduce el amoniaco al sistema de refrigeración durante la carga inicial o en las recargas..

2.2.1 Cámaras refrigeradas.

“El Frigorífico Cienfuegos cuenta con 8 cámaras de 54 x 18 x 7m, su área (entre ejes), es 972 m² y su volumen bruto 6804 m³. Todas las cámaras (de la 1 a la 8) pueden trabajar a temperatura por encima de 0⁰C porque su destino fundamental es la de conservas cítricas.

Por diseño, cada cámara es capaz de almacenar 750 TM de productos.” [7]

2.3 Cálculos de comprobación

A solicitud del Departamento Técnico del Frigorífico se realizan a continuación los cálculos de comprobación del proyecto original de la instalación referidos en el documento ***Instrucción de Explotación***.

El proyecto original se concibió para almacenamiento de cítricos, cuya producción sigue un comportamiento estacional bien definido y considerando la recarga total de una cámara con frecuencia diaria. En las condiciones actuales de explotación de la instalación esas condiciones han variado pues se almacenan varios productos (papas, jugos concentrados, etc.) con tasas de entrada diaria variable.

Por ello se consideran tres escenarios para los cálculos de comprobación:

- Carga de producto igual al 10 % de la capacidad. (esto equivale a la renovación de una cámara, considerando E = 750 TM.
- Carga diaria de producto igual al 100 % de la capacidad de una cámara, considerando E = 750 TM.
- Carga diaria de producto igual al 100 % de la capacidad de la cámara considerando E = 1400 TM

2.3.1 Calculo de comprobación de la capacidad convencional de carga de cada cámara.

Utilizaremos la metodología de cálculo del texto “Instalaciones Frigoríficas” (Ver Bibliografía)

Dimensiones de la cámara: 54 X 18 X 7 m

- Cálculo del área constructiva (Bruta) Cámara. (F_1)

$$F_1 = (A_1 - 1,5)*L \dots \dots \dots (1)$$

$$F_1 = (18-1,5)*54 = 891m^2$$

- Cálculo de área de carga de la cámara. (F_{1c})

$$F_{1c} = F_1 * \beta_F \dots \dots \dots (2)$$

Donde

β_F - Coeficiente que tiene en cuenta el aprovechamiento del área. Que es igual a 0,75.

$$F_{1c} = 891 * 0,75 = 668,25 \text{ m}^2$$

- Cálculo de volumen útil de la cámara (V_c)

$$V_c = F_{1c} * h_c \dots\dots\dots (3)$$

Donde

h_c - altura constructiva. Que igual a 6m en nuestro caso.

$$V_c = 668,25 * 6 = 4009,5 \text{ m}^3$$

- Cálculo de la Capacidad convencional (E)

$$V_c = \frac{E}{g_v} \rightarrow E = V_c * g_v \dots\dots\dots (4)$$

Donde

g_v -norma de carga. Que es igual en nuestro caso a 0,35 T/m³

$$E = 4009,5 * 0,35 = 1403,3 \text{ TM} \approx 1400 \text{ TM}$$

Comentario

Según la Instrucción de explotación del Frigorífico la E es de 750 TM y hay contradicción.

2.3.2 Cálculos de comprobación de cargas térmicas.

Utilizando la metodología antes mencionada “se tienen en cuenta las ganancias de calor por los siguientes conceptos:

- a través de los elementos constructivos de las cámaras ___ Q_1
- de los productos durante su tratamiento térmico ___ Q_2
- del aire exterior por ventilación de la cámara ___ Q_3
- de las distintas fuentes durante la explotación ___ Q_4
- de los productos por respiración (sólo para productos agrícolas) ___ Q_5 ”. [6]

La ganancia de calor Q_1 se calculó como:

$$Q_1 = k_r * F (t_e - t_i) \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

k_r – coeficiente global de transferencia de calor para el elemento constructivo en cuestión, $W/(m^2.K)$;

F – superficie del elemento constructivo, m^2 ;

t_e – temperatura en el lado exterior del elemento constructivo, $^{\circ}C$;

t_i – temperatura del aire en el interior de la cámara, $^{\circ}C$.

$$Q_1 = 0,47 \cdot 972 \cdot (28 - 4) = 10964,16W$$

La ganancia de calor Q_2 se calculó como:

$$Q_2 = \frac{M \cdot \Delta i}{3,6\tau} \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

M – entrada diaria de productos a la cámara en tonelada métrica, TM;

Δi – diferencia de entalpías específicas, correspondientes a la temperatura inicial y final del producto, kJ/kg ;

τ - tiempo de duración del tratamiento térmico, horas.

$$Q_2 = \frac{80 \cdot 91300}{3,6 \cdot 120} = 16907,40 \text{ W}$$

Si consideramos que la cámara se llena en un día, entonces con entrada de 750TM

$$Q_2 = \frac{750 \cdot 91300}{3,6 \cdot 120} = 158506,9 \text{ W}$$

Si consideramos que la cámara se llena en un día, entonces con entrada de 1400TM

$$Q_2 = \frac{1400 \cdot 91300}{3,6 \cdot 120} = 295879,6 \text{ W}$$

La ganancia de calor Q_3 se obtiene como:

$$Q_3 = M_a \cdot (i_e - i_i) \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

M_a – flujo de aire de ventilación, kg/s ;

i_e – entalpía específica del aire exterior, kJ/kg ;

i_i – entalpía específica del aire en la cámara, kJ/kg .

$$M_a = \frac{V * a * \rho_a}{24 * 3600} \dots\dots\dots (3.1)$$

Donde:

V – volumen de la cámara, m³;

a – frecuencia de renovación del aire al día, 1/día;

ρ_a – densidad del aire a la temperatura y humedad reinantes en la cámara, kg/m³.

La ganancia de calor por este concepto no se tiene en cuenta en el diseño del frigorífico, ya que el aire fresco necesario para la renovación se obtendrá por las aperturas de las puertas, tanto en el llenado como en la extracción, así como durante las inspecciones diarias que se efectúen, teniendo en cuenta el poco tiempo de permanencia del producto en las cámaras, por lo que, $Q_3=0$

Si fuera necesario determinarlo el valor sería:

$$M_a = \frac{6804 * 1 * 1.264}{24 * 3600}$$

$$M_a = 0.09954 \text{ kg/s}$$

$$Q_3 = 0.09954 * (90.54 - 13.8)$$

$$Q_3 = 7638.69 \text{ W}$$

La ganancia de calor Q_4 se calcula como:

$$Q_4 = q_1 + q_2 + q_3 +$$

$$q_4 \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

q_1 – ganancia de calor por iluminación; W;

q_2 – ganancia de calor por la presencia de personas, W;

q_3 – potencia de los motores eléctricos en el interior de la cámara, W;

q_4 – ganancia de calor por la apertura de puertas, W.

$$q_1 = A * F \dots\dots\dots (4.1)$$

Donde:

A – cantidad de calor emitida por la iluminación en la unidad de tiempo sobre 1 m² de la superficie del piso, W/m²;

F – área de la cámara, m².

$$q_1 = 1,9 \cdot 972 = 1845,8 \text{ W}$$

$$q_2 = 350 \cdot n \dots\dots\dots (4.2)$$

Donde:

350 – emisión de calor de una persona al efectuar trabajos físicos pesados, W

n – número de personas que laboran a la vez en el interior de la cámara.

$$q_2 = 350 \cdot 5 = 1750 \text{ W}$$

$$q_3 = Nm \cdot 0.85 \text{ – potencia de motor} \dots\dots\dots (4.3)$$

$$q_3 = 66 \text{ kW} = 66000 \text{ W}$$

$$q_4 = B \cdot F \dots\dots\dots (4.4)$$

Donde:

B – ganancia de calor específica por la apertura de puertas, W/m²;

F – área de la cámara, m².

$$q_4 = 12 \cdot 972 = 11664 \text{ W}$$

$$Q_4 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 = 81259,8 \text{ W}$$

La ganancia de calor Q₅ se obtuvo de la siguiente forma:

$$Q_5 = E \cdot (0,1 q_m + 0,9 q_c) \dots\dots\dots (5)$$

Donde.

E – capacidad de la cámara, TM;

q_m – flujo específico medio de calor por la respiración de los productos agrícolas entre las temperaturas de entrada y conservación, W/TM ;

q_c – flujo específico de calor por la respiración de las frutas a la temperatura de conservación, W/TM

$$Q_5 = 750 \cdot (0,1 \cdot 33 + 0,9 \cdot 22) = 17325 \text{ W}$$

Considerando que la cámara se llena en un día con entrada de 750TM.

$$Q_5 = 750 \cdot 33 = 24750 \text{ W}$$

Anthony Moona

Considerando que la cámara se llena en un día con entrada de 1400TM.

$$Q_5 = 1400 * 33 = 46200 \text{ W}$$

Resultados:

| Concepto | Q ₁ , W | Q ₂ , W | Q ₃ , W | Q ₄ , W | Q ₅ , W | Q _{total} , W |
|-------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------|
| Valor con el 10% de llenado diario | 10964.16 | 16907.40 | 0 | 81259.8 | 17325 | 126456.36 |
| Valor, si llenado en un día(750TM) | 10964.16 | 158506.9 | 0 | 81259.8 | 24750 | 275480.86 |
| Valor, si llenado en un día(1400TM) | 10964.16 | 295879.6 | 0 | 81259.8 | 46200 | 434303.56 |

Tabla 2.1 Resultados del cálculo de la carga térmica para las distintas variantes.

2.3.3 Cálculos de comprobación del número de enfriadores de aire.

Esta cámara posee 12 enfriadores de aire de modelo de EVCV-240 que tiene un área de transferencia de calor de 240 m² y un flujo de aire de 18764 m³/h y un Q₀ de 10TR.

Numero de Enfriadores de Aire.

$$\text{No. EA} = Q_{\text{total}}/Q_0 \dots\dots\dots (6)$$

Donde Q₀= 10 TR para Cada Enfriador de aire.

Para Q_{total} = 126519 W

$$\text{No. EA} = \frac{126519}{\frac{10 * 3024}{860} * 1000} = 3,6 \approx 4$$

Para Q_{total} = 275512 W

$$\text{No. EA} = \frac{275512}{\frac{10 * 3024}{860} * 1000} = 7,8 \approx 8$$

Para $Q_{\text{total}} = 434303.56W$

$$\text{No. EA} = \frac{434303.56}{\frac{10 * 3024}{860} * 1000} = 12.02 \approx 12$$

En los dos primeros casos se observa que el número necesario de enfriadores de aire es muy inferior al que existe en realidad en la cámara, solamente para el caso cuando la entrada es de 1400TM coincide con el número de enfriadores disponible en la cámara, por lo que podemos continuar afirmando que existe un error en la capacidad de las cámaras.

2.3.4 Cálculo de comprobación de número de Compresores.

La carga térmica sobre los compresores se compone de la sumatoria de las cargas térmicas antes vistas, aunque no es necesario tomarlas en su totalidad, ya que depende del tipo de frigorífico, por lo que tomamos lo siguiente:

Q1 – 90%

Q2 – 50%

Q3 – 0

Q4 – 60%

Q5 – 100%

Resultados:

| Concepto | Q ₁ , W | Q ₂ , W | Q ₃ , W | Q ₄ , W | Q ₅ , W | Q _c , W |
|------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Valor con el 10% de llenado diario | 9867.7 | 8453.7 | 0 | 48755.8 | 17325 | 84402.2 |

| | | | | | | |
|---|--------|----------|---|---------|-------|----------|
| Valor, si llenado en un día.(750TM) | 9867.7 | 79253.4 | 0 | 48755.8 | 24750 | 162626.9 |
| Valor, si llenado en un día.(1400TM) | 9867.7 | 147939.5 | 0 | 48755.8 | 46200 | 252763 |

Tabla 2.2 Resultados de la carga térmica para las distintas variantes.

Si llenado con 10% de del valor diario.

$$NC = Q_c \cdot 8 / (380\,000 / 0.86) \dots\dots\dots (7)$$

Para $Q_c = 84402,2 \text{ W}$

NC = 1,52 compresores \approx 2 Unidades

Si se llena la cámara en un día.(750TM)

$$NC = Q_c \cdot 8 / (380\,000 / 0.86) \dots\dots\dots (8)$$

Para $Q_c = 196250,4 \text{ W}$

NC = 3,55 compresores \approx 4 Unidades

Si se llena la cámara en un día.(1400TM)

$$NC = Q_c \cdot 8 / (380\,000 / 0.86) \dots\dots\dots (9)$$

Para $Q_c = 252763 \text{ W}$

NC = 4,57 compresores \approx 5 Unidades

Existen 9 compresores en la Sala de máquinas y según el manual de explotación son 7 trabajando y 2 de reserva.

El valor obtenido de 5 unidades no resulta muy inferior, ya que aunque al inicio del epígrafe 2.2 se enunció que los compresores eran de una capacidad de 380000 kcal/h a 720 r.p.m., existen 3 unidades que giran a 680 r.p.m. y su capacidad disminuye a 360000 kcal/h, que unido a los existentes de 200000 kcal/h hace que pueda ser

necesario utilizar un número mayor que 5 compresores a 380000 kcal/h para lo cual se realizó el cálculo.

Conclusiones parciales.

-
- El volumen de utilización es un 58,9% del volumen de diseño de la cámara que ocupa una capacidad convencional de 1400 TM de producto que es un 53,6% menor de de producto que realmente se puede almacenar en la cámara.
- Como se observa, de esta metodología de cálculo, difiere el resultado obtenido de E del de diseño, esto solamente es posible por una o la combinación de razones siguientes
 1. Pobre utilización del área constructiva
 2. Deficiente uso del volumen del almacenamiento
 3. Error en el resultado final o durante los cálculos
- El recálculo de β_F y g_v se dio según las dimensiones de la cámara y normas de diseño, β_F nos dio 0,40 que debía ser 0,75 según la norma de diseño y g_v se dio 0,18 que debía ser 0,35 según la norma de diseño también.
- En los recálculos de los enfriadores de aire, en los dos primeros casos se observa que el número necesario de enfriadores de aire es muy inferior al que existe en realidad en la cámara, solamente para el casa cunado la entrada es de 1400TM coincide con el número de enfriadores disponibles en la cámara, por lo que podemos continuar afirmando que existe un error en la capacidad de las cámaras.
- Existen 9 compresores en la Sala de máquinas y según el manual de explotación son 7 trabajando y 2 de reserva y cuando se hacen los cálculos para diferentes valores de E, el numero que se dio es inferior de lo que está disponible, por lo que podemos continuar afirmando que existe un error en la capacidad de las cámaras.

CAPITULO III: Caracterización Energética del Frigorífico Agropecuario de Cienfuegos.

3.1 introducción.

La energía eléctrica en los frigoríficos agropecuarios constituye hasta el 50% de los costos totales de la entidad, en el ámbito nacional. En nuestro caso que realizamos otras operaciones de exportación e importación este valor osciló durante la pasada campaña hasta el 30 de junio alrededor del 35%, eso visto en las dos monedas que operamos, pero si lo analizamos contra el presupuesto en divisas de la entidad, la energía eléctrica constituye alrededor del 70% de dicho presupuesto. Tal magnitud justifica que de forma permanente se analice y conozca cómo se utiliza dicho portador energético, es decir con qué eficiencia utilizamos la energía en la producción de frío, comparándolo con índices técnicos económicos, normas de consumos, etc. Actualmente esta instalación no cuenta con ningún índice o norma de consumo de energía eléctrica que permita realizar dichos análisis.

3.2 Diagramas energéticos del Frigorífico Agropecuario de Cienfuegos.

3.2.1 Diagrama de Pareto

Los diagramas de Pareto son gráficos especializados de barras que presentan la información en orden descendente, desde la categoría mayor a la más pequeña en unidades y en por ciento. Los porcentajes agregados de cada barra se conectan por una línea para mostrar la suma incremental da cada categoría respecto al total.

El diagrama de Pareto es muy útil para aplicar la Ley de Pareto o Ley 80 – 20, que identifica el 20% de las causas que provoca el 80% de los efectos de cualquier fenómeno estudiado.

Utilidad del Diagrama de Pareto.

- Identificar y concentrar los esfuerzos en los puntos clave de un problema o fenómeno como puede ser: los mayores consumidores de energía de la fábrica, las mayores pérdidas energéticas o los mayores costos energéticos.
- Predecir la efectividad de una mejora al conocer la influencia de la disminución de un efecto al reducir la barra de la causa principal que lo produce.
- Determinar la efectividad de una mejora comparando los diagramas de Pareto anterior y posterior a la mejora.

Los portadores energéticos del Frigorífico Agropecuario de Cienfuegos se muestran en la tabla 3.6 y figura 3.1

| N.O | Portador | U.M | Real 2005 | Real 1er Sem 2006 | % del Total TEP, 2005 | % del Total TEP 2006 | F.C. | Acum. TEP %, 2005 | Acum. TEP %, 2006 |
|-----|-------------------|-----|-----------|-------------------|-----------------------|----------------------|---------|-------------------|-------------------|
| 1 | Electricidad | MWh | 2011.8 | 884.6 | 89.445 | 75.854 | 0.37461 | 89.44 | 75.85 |
| | Electricidad | TEP | 753.6 | 331.4 | | | | | |
| 2 | Diesel | T | 47.0 | 49.5 | 5.876 | 11.938 | 1.05340 | 95.32 | 87.79 |
| | Diesel | TEP | 49.5 | 52.2 | | | | | |
| 3 | Gasolina | T | 29.0 | 39.3 | 4.661 | 12.172 | 1.35410 | 99.98 | 99.96 |
| | Gasolina | TEP | 39.3 | 53.2 | | | | | |
| 5 | GLP | T | 0.135 | 0.135 | 0.019 | 0.036 | 1.16310 | 100.00 | 100.00 |
| | GLP | TEP | 0.157 | 0.157 | | | | | |
| | TOTAL, TEP | - | 842.576 | 436.9 | 100.0 | 100.0 | - | - | - |

Tabla 3.1 Portadores energética de Frigorífico Cienfuegos.

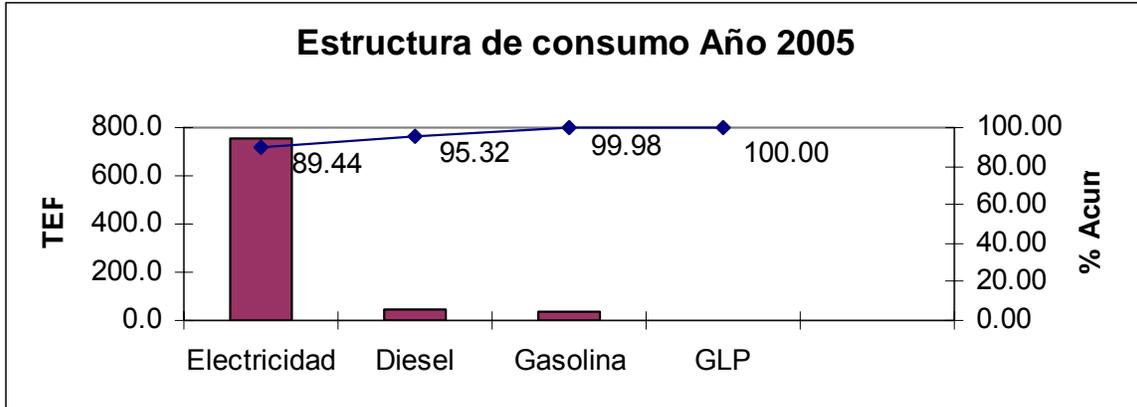


Figura 3.1 Estructura de consumo de portadores energéticos.

Diagrama de Pareto del promedio diario de consumo de energía eléctrica por meses obtenido en 3.3.

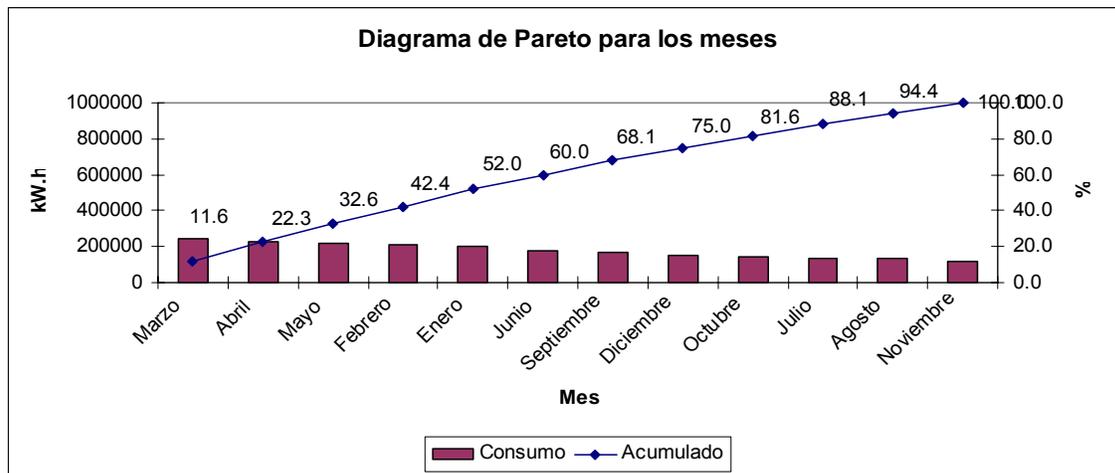


Figura 3.2 Diagrama de Pareto para el consumo de energía eléctrica.

Se observa que los meses más "críticos" son los primeros 5 meses del año y dentro de éstos el mes de marzo.

3.2.2 Gráfico de consumo y producción en el tiempo (E – P vs. T)

Consiste en un gráfico que muestra la variación simultánea del consumo energético con la producción realizada en el tiempo. El gráfico se realiza para cada portador energético importante de la empresa y puede establecerse a nivel de empresa, área o equipos.

Utilidad de los gráficos E-P vs. T.

- Muestran períodos en que se producen comportamientos anormales de la variación del consumo energético con respecto a la variación de la producción.
- Permiten identificar causas o factores que producen variaciones significativas de los consumos.

El comportamiento histórico de consumo de electricidad del Frigorífico Agropecuario de Cienfuegos desde el año 1999 hasta el 2006 se mostró en la tabla 3.7.

Utilizaremos como ejemplo los datos del año 2003 – 2004 para mostrar el comportamiento de la producción – consumo en el tiempo.

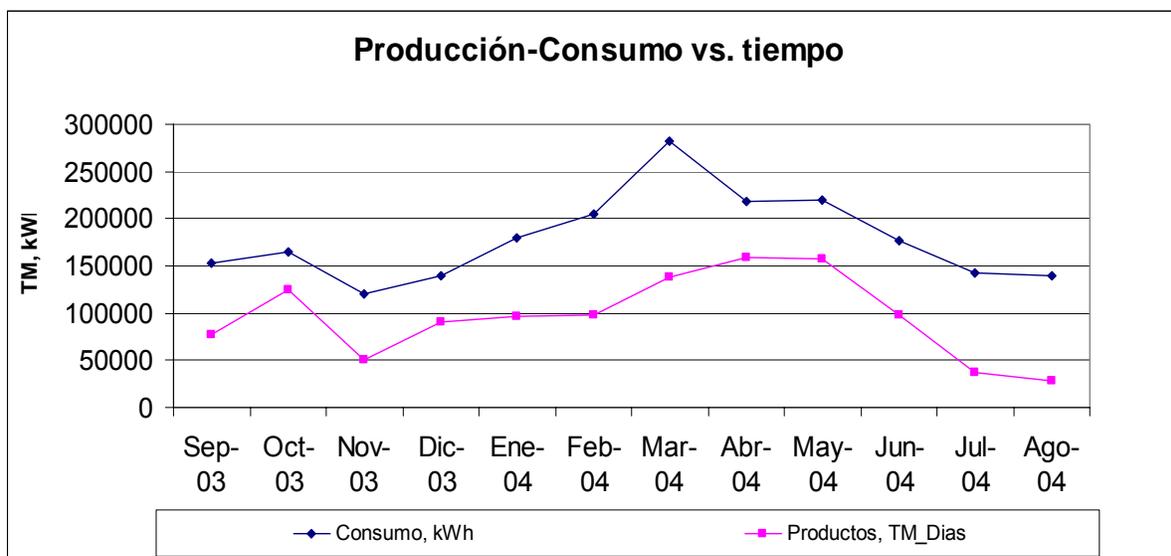


Figura 3.3 Grafico de producción – consumo vs. Tiempo.

En este grafico se observa que al aumentar la producción aumenta el consumo de electricidad.

Entre la producción y el consumo existe una relación de proporcionalidad, al aumentar la producción aumenta el consumo de electricidad y se muestra como fluctúa en los distintos meses del año.

3.2.3 Diagramas de consumo – producción (e vs. p)

Para las empresas industriales y de servicios, realizar un diagrama de dispersión de la energía usada en un mes u otro período de tiempo con respecto a la producción realizada o los servicios prestados durante ese mismo período, revela importante información sobre el proceso.

Este gráfico de E vs. P puede realizarse por tipo de portador energético, y por áreas, considerando en cada caso la producción asociada al portador en cuestión. Por ejemplo: una fábrica de helados graficará el consumo de combustible o electricidad versus las toneladas de helados producidas, mientras que en un hotel turístico se puede graficar el consumo de electricidad o de gas versus los cuartos-noches ocupados.

Utilidad de los Diagramas E vs. P

- Determinar en qué medida la variación de los consumos energéticos se deben a variaciones de la producción.
- Mostrar si los componentes de un indicador de consumo de energía están correlacionados entre sí, y por tanto, si el indicador es válido o no.
- Establecer nuevos indicadores de consumos o costos energéticos.
- Determinar la influencia de factores productivos de la empresa sobre los consumos energéticos y establecer variables de control.
- Identificar el modelo de variación promedio de los consumos respecto a la producción.
- Determinar cuantitativamente el valor de la energía no asociada a la producción.

Ejemplificaremos este diagrama con los datos del Frigorífico de la campaña 2003 – 2004.

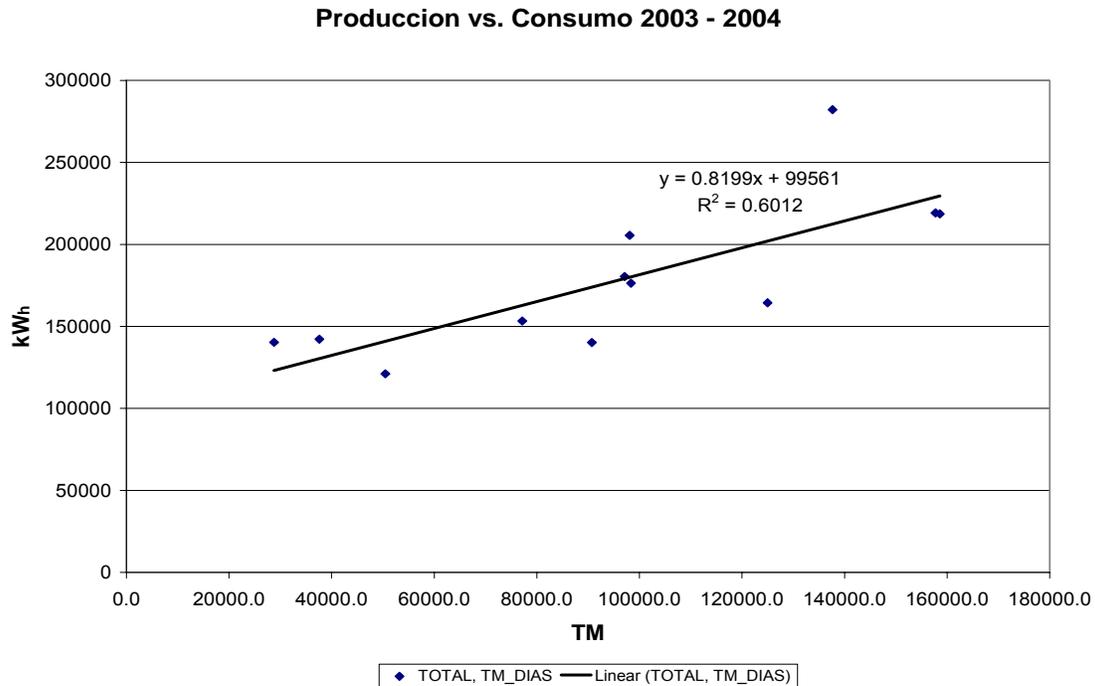


Figura 3.4 Grafico de Consumo vs. Producción

Como se observa no existe una correlación estadística entre la producción y el consumo de energía eléctrica, ya que $R^2 < 0.70$. Esto se debe a que se almacenan distintos tipos de productos a diferentes temperaturas y por tanto el tratamiento térmico es diferente para cada uno de ellos, es necesario obtener un producto equivalente.

3.3 Obtención de la norma consumo diario de energía eléctrica

3.3.1 Metodología para la obtención de la norma de consumo.

El exceso en el consumo real de energía eléctrica respecto a lo normado evidencia la violación de la operación normal de la instalación frigorífica a la falta de observación de los regímenes tecnológicos previstos, tanto para la operación frigorífica como para la recepción, almacenamiento y salida de productos. Las causas fundamentales del exceso de consumo de energía eléctrica son las siguientes:

- Régimen inestable de trabajo de los compresores (por ejemplo compresión húmeda)
- Mal estado de los difusores de cámaras, compresores y equipos en general
- Presencia de aceite y otras suciedades en la superficie de los difusores y tuberías.
- Alta presión de condensación producto de suciedades e incrustaciones en los condensadores y presencia de aire en el sistema y la temperatura del agua a la entrada de éstos.
- Época del año.
- Entrada diaria y tipo de producto almacenado, así como cantidad de embarques realizados.
- Falta de refrigerante en la instalación.
- Distribución irregular del refrigerante a los difusores.
- Operación de baja calificación de la instalación frigorífica tanto del personal que la opera en Sala de máquinas como del personal que trabaja en las cámaras.
- No existencia de controles, exigencia, estimulaciones, etc., relacionados con este portador.

La disminución del consumo de energía eléctrica en la producción de frío puede obtenerse como resultado de la eliminación de las deficiencias de operación antes señaladas y de la introducción de la automatización en la instalación frigorífica.

La estructura de las normas de consumo de energía eléctrica se muestra en la Tabla 3.2.

Estructura de la Norma de consumo de energía eléctrica.

| Norma | Aspecto del consumo de energía eléctrica | Equipo consumidor de la energía eléctrica |
|------------------------|--|--|
| Tecnológica | <ul style="list-style-type: none"> - Trabajo de los compresores. - Circulación del refrigerante. - Circulación del agua de enfriamiento en el sistema torres condensadores - Enfriamiento de cámaras | <p>Compresores frigoríficos. Bombas de amoníaco. Bombas de agua de torres, condensadores y enfriamiento de compresores Ventiladores de los difusores, Ventiladores del sistema de renovación de aire</p> |
| De la Sala de máquinas | <ul style="list-style-type: none"> - Norma tecnológica. - Tratamiento de agua y llenado de agua potable. - Alumbrado de Sala de Máquinas. - Otros consumos. | <p>Lo señalado anteriormente. Bombas de tratamiento de agua y del tanque elevado. Luces de Cámaras, Sala de máquinas y andenes.</p> |
| De la Unidad | <ul style="list-style-type: none"> - Norma de la Sala de Máquinas. - Necesidad de otros locales. - Alumbrado exterior. - Pérdidas de energía eléctrica. | <p>Lo señalado anteriormente. Parte administrativa, talleres de transporte (incluye baterías), servicios generales (neveras). Iluminación exterior.</p> |

Tabla 3.2. Estructura de la Norma de consumo de energía eléctrica

Esta metodología se basa en el método analítico - estadístico, el cual presupone la determinación de las normas de gasto utilizando datos estadísticos y experimentales realizando cálculos teóricos, mediciones efectuadas, características técnicas de los equipos y datos de la documentación. Los datos iniciales para la determinación de la norma tecnológica son las magnitudes promediadas para el mes de marzo del 2007, mes donde casualmente se inició el presente Trabajo de Diploma en el centro y donde ocurrió el pico de la cosecha de la papa y su entrada en el frigorífico, existiendo 8 cámaras llenas durante todo el mes y la operación de 2 buques, estos datos se muestran en la siguiente tabla.

Datos.

| Parámetro | Valor | Forma de determinación |
|--|----------------------------|--|
| Temperatura, °C <ul style="list-style-type: none"> • bulbo seco, aire exterior • bulbo húmedo, aire exterior • vapor a la entrada del compresor, t_s • agua a la entrada del condensador, t_{w1} • ídem, a la salida, t_{w2} | 28 24 -5 30 32 | Termómetro de alcohol. Valores promedios de la temperatura del aire en la estación meteorológica de Cienfuegos. |
| Temperatura, °C <ul style="list-style-type: none"> • ebullición, t_o • condensación, t_k | -10 37 | Termómetro de alcohol. Por la metodología que se plantea. |
| Presión, MPa <ul style="list-style-type: none"> • vapor antes del compresor, P_o • Ídem a la salida, P_k • descarga de la bomba de refrigerante, P_{dB} | 0.21 1.2 0.41 | Manómetro de succión Manómetro de descarga Manómetro de la bomba de amoníaco |

| Parámetro | Valor | Forma de determinación |
|--|----------|--|
| Rendimiento, % <ul style="list-style-type: none"> • motores eléctricos, η_m • bombas, η_B | 80 85 | Por catálogo |
| Capacidad calorífica, kJ/(kg.K) <ul style="list-style-type: none"> • amoníaco líquido | 4.55 | Por tablas |
| Potencia, kW <ul style="list-style-type: none"> • instaladas de los motores eléctricos, N_m | Tabla 3 | Por catálogos y medidas |
| Volumen de desplazamiento de los compresores, V_D , m ³ /s | 0.15 | Por catálogo |
| Tiempo de trabajo, h <ul style="list-style-type: none"> • compresores y equipos que dan servicio a la instalación | Tabla 3 | Por el registro diario de Sala de Máquinas. |

Tabla 3.3. Datos para la determinación de la Norma de consumo de energía eléctrica.

3.3.2 Procedimiento para la determinación de la norma de consumo diario de energía eléctrica.

Para calcular la norma tecnológica procederemos a confeccionar una tabla donde se incluyan todos los consumidores de energía con la potencia demandada, horas trabajadas diarias y características técnicas, según se muestra en la Tabla 3.4.

Consumidores de energía eléctrica para la Norma tecnológica.

| Equipo | Marca | Cantidad igual | Potencia unitaria, kW | No de equipos en uso. | Potencia en uso, kW | Horas diarias trabajadas | Consumo diario kWh |
|--|--------------|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| Compresor | AUU 400 | 2 | 130 | 1 | 130 | 14 | 1820 |
| Compresor | AUU 400 | 5 | 150 | 1 | 150 | 6 | 900 |
| Compresor | AUU 200 | 2 | 85 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Difusor de amoníaco | EVCV 240 | 96 | 5.5 | 62 | 296 | 9 | 2728 |
| Bombas de amoníaco | Witt – GP 51 | 8 | 4.8 | 6 | 24.48 | 20 | 489 |
| Bombas de agua sistema t-c y c-t | K 160 | 6 | 20 | 1 | 17 | 18 | 306 |
| | K 160 | 8 | 18.5 | 2 | 32 | 18 | 576 |
| Ventiladores del sistema de renovación de aire | Axial | 40 | 1.8 | 30 | 54 | 0 | 0 |
| TOTAL | | | | | | | 6819 |
| MAXIMA DEMANDA | | | | | 703.48 | | |

Tabla 3.4. Consumidores de energía eléctrica para la Norma tecnológica.

Los valores de la Tabla 3.4 fueron obtenidos de la siguiente manera:

- La **potencia unitaria**: Por los datos de chapa de los motores eléctricos, excepto para los de los compresores, la cual fue medida por el equipo Analizador de redes eléctricas (MIGDET).

- El **no. de equipos en uso**: Por el promedio estadístico de equipos en uso diariamente en el mes de marzo del 2007 de acuerdo al Parte Diario de Sala de Máquinas confeccionado por los operadores de la planta.
- La **potencia en uso**: Como el producto del 85% de la potencia unitaria por el número de equipos, excepto para los difusores, la cual se midió con el MIGDET.
- Las **horas diarias trabajadas**: Como el promedio de las horas trabajadas por equipos cuando existen 8 cámaras con productos. Excepto para los difusores de amoníaco, que por trabajar de forma automática se calcularon las horas de trabajo de acuerdo a la simultaneidad de trabajo para 8 cámaras, considerando el tiempo de recepción, almacenaje y salida de productos y la parada total de la instalación durante el horario pico.

Para el cálculo de la norma de sala de máquinas los valores se muestran en la Tabla 3.5

Consumidores de energía eléctrica para la Norma de Sala de Máquinas.

| Equipo | Marca | Cantida d igual | Potenci a unitaria , kW | No de equipo s en uso. | Potenci a en uso, kW | Horas trabaja das | Consum o kW-h |
|-----------------------------------|---------------|--------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------|-------------------------|------------------|
| Norma tecnoló- gica | | | | | 703 | | 6819 |
| Bomba de trata- miento de agua | ETA 65-26 | 2 | 5.5 | 1 | 4.4 | 2 | 8.8 |
| Bombas del tan- que elevado | K 160 | 2 | 18.5 | 1 | 14.8 | 4 | 59.2 |
| Luces de cámaras | Luz Mezcla | 304 | 0.160 | 38 | 6.08 | 2 | 12.16 |
| Luce de andenes | Luz Mezcla | 72 | 0.160 | 9 | 1.44 | 12 | 17.28 |

| | | | | | | | |
|------------------------------------|------------|----|-------|---|------|----|---------|
| Luces de Sala de máquinas y taller | Luz Mezcla | 13 | 0.160 | 8 | 1.28 | 10 | 12.8 |
| TOTAL | | | | | | | 6929.24 |
| MAXIMA DEMANDA | | | | | 731 | | |

Tabla 3.5. Consumidores de energía eléctrica para la Norma de Sala de Máquinas.

Para el cálculo y la confección de la norma de la Unidad se utilizaron los valores que se muestran en la Tabla 3.6.

Consumidores de energía eléctrica para la Norma de la unidad.

| Equipo | Marca | Cantidad igual | Potencia unitaria, kW | No de equipos en uso. | Potencia en uso, kW | Horas trabajadas | Consumo kW-h |
|-------------------------------------|---------------------------|----------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|------------------|--------------|
| Norma de Sala de Máquinas | | | | | 731 | | 6929.24 |
| Aire acondicionado de ventana | LG | 10 | 1.1 | 8 | 8.8 | 8 | 70.4 |
| Otros consumos parte administrativa | Luces, refrigerador, etc. | 20 | 0.040 | 20 | 0.8 | 8 | 6.4 |
| Nevera | DH 6.3 | 1 | 5.6 | 1 | 5.6 | 20 | 112 |
| Cargadores de baterías | | 3 | 7.4 | 2 | 11.8 | 8 | 94.7 |

| | | | | | | | |
|---------------------|--------------|---|------|---|--------|----|---------|
| Alumbrado exterior | Luz mezcla | 5 | 0250 | 4 | 1 | 10 | 10 |
| Pérdidas eléctricas | Cables, etc. | | | | 1% | | 86.2 |
| TOTAL | | | | | | | 7308.94 |
| MAXIMA DEMANDA | | | | | 759.01 | | |

Tabla 3.6 Consumidores de energía eléctrica para la Norma de la unidad.

3.3 Ejemplo de aplicación: Norma de consumo Mes Marzo. Validación con datos históricos.

La facturación de la energía eléctrica en el mes de marzo del 2007 por parte de la OBE fue de 240063 kW.h, por autolectura se ofrece a continuación:

| Dia | Consumo, kWh | | Dia | Consumo, kWh |
|-------------------|----------------|--|----------------------|----------------|
| 1 | 7421.78 | | 16 | 6566.86 |
| 2 | 11161.22 | | 17 | 4762.01 |
| 3 | 10132.54 | | 18 | 6555.34 |
| 4 | 7476.87 | | 19 | 6216.81 |
| 5 | 7124.89 | | 20 | 6705.85 |
| 6 | 7123.24 | | 21 | 10251.03 |
| 7 | 4908.10 | | 22 | 6472.33 |
| 8 | 6109.74 | | 23 | 8342.56 |
| 9 | 7176.66 | | 24 | 12397.81 |
| 10 | 7020.51 | | 25 | 10211.60 |
| 11 | 6250.54 | | 26 | 9364.37 |
| 12 | 6610.13 | | 27 | 9008.09 |
| 13 | 7301.32 | | 28 | 11368.61 |
| 14 | 6650.02 | | 29 | 8394.08 |
| 15 | 6337.77 | | 30 | 8823.90 |
| | | | 31 | 9201.67 |
| Total | 108805 | | | 134643 |
| Prom. Dia | 7253.69 | | | 8415.18 |
| Total mes: | 243448 | | Prom. Dia mes | 7853.17 |

Tabla 3.7 Consumo diario de electricidad del Frigorífico para el mes de marzo del 2007.

Como se observa en la primera quincena el promedio diario del consumo de electricidad difiere en menos del 5% del valor de la norma, y solamente se incrementa de forma significativa en los últimos 7 días de la segunda quincena, esto pudo ser producto de varios factores no comunes, entre ellos la puesta en servicio de varios equipos ineficientes, incremento del tratamiento térmico a los productos por necesidad del servicio por aumentar la entrada diaria de los mismos, operación de baja calificación de la instalación por falta de control, etc. No obstante, la desviación del promedio mensual respecto a la norma calculada está en el orden del 7%.

3.3.4 Determinación de la norma de consumo diario de energía eléctrica para cada uno de los meses del año.

| | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio |
|-----------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Real 1999, kW.h | 275000 | 236686 | 240848 | 224823 | 223678 | 200524 |
| Real 2000, kW.h | 186436 | 215539 | 258006 | 280627 | 231897 | 191564 |
| Real 2001, kW.h | 181495 | 194378 | 233795 | 309469 | 222823 | 258054 |
| Real 2002, kW.h | 82029 | 193412 | 236896 | 204566 | 181460 | 108041 |
| Real 2003, kW.h | 180433 | 197412 | 282141 | 222646 | 219678 | 186423 |
| Real 2004, kW.h | 180444 | 205520 | 217664 | 218633 | 236836 | 176386 |
| Real 2005, kW.h | 177432 | 219549 | 285208 | 248881 | 222741 | 180000 |
| Real 2006, kW.h | 68001 | 90870 | 195529 | 185406 | 170384 | 174434 |

| | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre | TOTAL |
|-----------------|---------------|--------|---------------|--------------|--------------|--------------|----------------|
| Real 1999, kW.h | 167353 | 164330 | 185406 | 150278 | 113062 | 125161 | 2307149 |
| Real 2000, kW.h | 134259 | 117174 | 155244 | 105102 | 128145 | 177470 | 2181463 |
| Real 2001, kW.h | 161348 | 114138 | 163284 | 190480 | 72949 | 82029 | 2184242 |
| Real 2002, kW.h | 113157 | 139222 | 136204 | 94062 | 94004 | 111115 | 1694168 |
| Real 2003, kW.h | 135205 | 121150 | 153227 | 164330 | 121091 | 140220 | 2123956 |
| Real 2004, kW.h | 142245 | 140236 | 229696 | 194522 | 138165 | 181445 | 2261792 |
| Real 2005, kW.h | 165357 | 149277 | 145196 | 92060 | 60924 | 64996 | 2011621 |
| Real 2006, kW.h | 108299 | 175321 | 256846 | 170834 | 82744 | 206629 | 1885297 |

Simbología

Afectacion por huracan Michelle

Afectacion por huracan Dennys

Tabla 3.8 Consumo mensual de electricidad del Frigorífico

Analizaremos los años que no han sufrido afectaciones por fenómenos atmosféricos u otros y que han tenido un nivel de actividad similar con relación a la entrada de productos.

La siguiente tabla lo muestra:

| | | | | | | |
|-----------------------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Real 1999, kW.h | 275000 | 236686 | 240848 | 224823 | 223678 | 200524 |
| Real 2000, kW.h | 186436 | 215539 | 258006 | 280627 | 231897 | 191564 |
| Real 2002, kW.h | 82029 | 193412 | 236896 | 204566 | 181460 | 108041 |
| Real 2003, kW.h | 180433 | 197412 | 282141 | 222646 | 219678 | 186423 |
| Real 2004, kW.h | 180444 | 205520 | 217664 | 218633 | 236836 | 176386 |
| Promedio, kW.h | 205578 | 209714 | 247111 | 230259 | 218710 | 172588 |
| Promedio Diario, kW.h | 6632 | 7490 | 7971 | 7675 | 7055 | 5753 |

| | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre | TOTAL |
|-----------------------|--------|--------|------------|---------|-----------|-----------|----------------|
| Real 1999, kW.h | 167353 | 164330 | 185406 | 150278 | 113062 | 125161 | 2307149 |
| Real 2000, kW.h | 134259 | 117174 | 155244 | 105102 | 128145 | 177470 | 2181463 |
| Real 2002, kW.h | 113157 | 139222 | 136204 | 94062 | 94004 | 111115 | 1694168 |
| Real 2003, kW.h | 135205 | 121150 | 153227 | 164330 | 121091 | 140220 | 2123956 |
| Real 2004, kW.h | 142245 | 140236 | 229696 | 194522 | 138165 | 181445 | 2261792 |
| Promedio, kW.h | 138444 | 136422 | 171955 | 141659 | 118893 | 147082 | |
| Promedio Diario, kW.h | 4466 | 4401 | 5732 | 4570 | 3963 | 4745 | |

No se tuvo en cuenta

Tabla 3.9 Consumo mensual de electricidad del Frigorífico para obtención del coeficiente de la Norma de consumo.

En epígrafe 3.2 enunciamos las causas de la variación en el consumo de energía eléctrica, aceptando el valor numérico de la norma obtenida, obtendremos entonces el coeficiente por la cual se afectará teniendo en cuenta dichos factores para cada mes:

| | | | | | | |
|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Mes | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio |
| Coeficiente | 0.90738 | 1.02477 | 1.09058 | 1.05008 | 0.96526 | 0.78712 |

| | | | | | | |
|-------------|---------|---------|------------|---------|-----------|-----------|
| Mes | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
| Coeficiente | 0.61103 | 0.60214 | 0.78425 | 0.62526 | 0.54221 | 0.64920 |

Tabla 3.10 Coeficiente de corrección para la Norma de consumo energía eléctrica.

Conclusiones parciales

- De la metodología empleada para calcular y realizar un análisis por primera vez en la norma de consumo de energía eléctrica diariamente se dio un consumo de 7308,94 kW-h.
- La facturación de energía eléctrica en el mes de marzo del 2007 fue de 240063 kW-h, teniendo en cuentas pérdidas eléctricas. También se analiza el mes en dos quincena, en la primera quincena se observa que el valor de consumo defiere menos de un 5% de la norma, y en la segunda quincena se incrementa de forma significativa en los últimos 7 días, esto pudo ser producto de varios factores no comunes, entre ellos: la puesta en servicio de varios equipos ineficientes, incremento del tratamiento térmico a los productos por necesidad del servicio para aumentar la entrada diaria de los mismos, operación de baja calificación de la instalación por falta de control, etc. No obstante, el promedio mensual está en el orden del 7%.
- Se analiza los años que no han sufrido afectaciones por fenómenos atmosféricos u otros y que han tenido un nivel de actividad similar con relación a la entrada de productos. En epígrafe 3.2 se enuncia las causas de la variación en el consumo de energía eléctrica, aceptando el valor numérico de la norma obtenida, se obtuvo entonces el coeficiente por la cual se afectará teniendo en cuenta dichos factores para cada mes.
- En figura 3.2 se analiza en forma de Pareto el promedio diario de consumo de energía eléctrica por meses obtenido en 3.3 y se observa que los meses más consumidores son de Marzo – Enero.

Conclusiones Generales.

1. A pesar de los distintos tipos de componentes de los sistemas de refrigeración y de las particularidades específicas para cada uno de ellos, el amoniaco como agente refrigerante es la tendencia mundial a utilizarse por sus características termodinámicas y su costo de producción.
2. La capacidad de carga convencional de las cámaras utilizadas por la administración del Frigorífico de Cienfuegos es menor que la capacidad real de las cámaras.
3. Existe bajo aprovechamiento del volumen de carga de las cámaras refrigeradas de esta instalación frigorífica, dado en lo fundamental por la conclusión anterior y por los dispositivos de almacenamiento disponible en la instalación frigorífica, siendo más aprovechado en el almacenamiento de la papa.
4. La norma de consumo mensual de energía eléctrica obtenida en el presente trabajo de diploma es válida para la instalación frigorífica. para condiciones de almacenamiento estándar de sus cámaras refrigeradas.
5. El consumo más significativo de energía eléctrica del Frigorífico de Cienfuegos ocurre en los primeros 5 meses del año y dentro de éstos el mayor es en el mes de marzo.
6. Es posible disminuir el consumo de energía eléctrica del Frigorífico de Cienfuegos sin el empleo de recursos monetarios, utilizando solamente la norma de consumo de electricidad como una herramienta de administración eficiente de este portador.

Recomendaciones.

1. Que la Administración del Frigorífico de Cienfuegos utilice a todos los efectos la capacidad de carga de las cámaras refrigeradas obtenidas en el presente Trabajo de Diploma.
2. Incrementar el volumen de utilización de las cámaras refrigeradas de la instalación frigorífica mediante el uso de medios de almacenamiento que permitan optimizar el mismo.
3. Tomar todas las medidas técnico – organizativas necesarias para disminuir el consumo de energía eléctrica fundamentalmente en los primeros 5 meses del año y principalmente en el mes de marzo.
4. Que la Administración del Frigorífico de Cienfuegos utilice la norma de consumo obtenida en el presente Trabajo de Diploma como una herramienta para la administración eficiente de la energía en el centro.
5. Que la Administración del Frigorífico de Cienfuegos establezca un sistema de monitoreo y control del consumo de energía en la instalación como continuación de la norma de consumo, obtenida en el presente Trabajo de Diploma.

Referencias Bibliográficas.

1. Borroto, Aníbal E Nordelo. Gestión Económica Energética/ Aníbal E. Borroto Nordelo, José P. Monteagudo Yanes.—Cienfuegos. Editorial UCF, 2006. — 70 p.
2. Ibidem, p.56.
3. 11. Ibidem, p.59.

4. Cuba. Departamento Técnico Filial Frigorífico Cienfuegos/ Balance de económico 2006/ MINAG de Frigorífico de Cienfuegos.—Cienfuegos: MINAG, 2006--..[s.p.]

5. Cuba. Vice Dirección Técnica Cubacítricos/ Instrucción de Manual de explotación de Frigorífico de Cienfuegos.—Cienfuegos: MINAG, 1993--..[s.p.]

6. Ibidem, s.p.

7. Instalaciones Frigoríficas/ Dr. Manuel J. Monteagudo García...[et.al.].—La Habana: Editorial de Libros Para La Educación, 1986.—36p.

8. Parsons, Robert A, Equipment Manual. ASHRAE. Tomado De:
http://www.ashrae.org/content/ASHRAE/ASHRAE/ArticleAltFormat/2003627101838_457.pdf. -- p.43.
9. Ibidem, p.45.
10. Ibidem, p.50.
11. Ibidem, p.57.

Bibliografía.

- Borroto, Aníbal E Nordelo. Gestión Económica Energética/ Aníbal E. Borroto Nordelo, José P. Monteagudo Yanes.—Cienfuegos. Editorial UCF, 2006. — 49p.
- Comisión Técnica Europea. Certificación Energética de Eficiencia en la Comunidad Económica Europea. Tomado De: www.cai.org.ar/tecnoconstrucción/requisitos-const-edif.html, 2003
- Cuba. Departamento Técnico Filial Frigorífico Cienfuegos/ Balance de económico 2006/ MINAG de Frigorífico de Cienfuegos.—Cienfuegos: MINAG, 2006--..[s.p.]
- Cuba. Departamento Técnico Filial Frigorífico Cienfuegos/ Partes Diarios de Temperatura en Cámaras información de Frigorífico de Cienfuegos./ MINAG.—Cienfuegos: MINAG, 2007--..[s.p.]
- Cuba. Departamento Técnico Filial Frigorífico Cienfuegos/Archivo de gestión/ MINAG.. Departamento técnico de Frigorífico de Cienfuegos.—Cienfuegos: MINAG,2006--..[s.p.]
- Cuba. Vice Dirección Técnica Cubacítricos/ Instrucción de Manual de explotación de Frigorífico de Cienfuegos.—Cienfuegos: MINAG, 1993-- ..[s.p.].
- Desarrollo Integrado de la Energía. Organización de los estados Americanos. Tomado De: <http://www.oas.org/usde/publication unit/oea 44 s/ ch 02.htm # Contents>, 1998
- El programa de Acción en Energía para el Caribe (PAEC)/ Nuevo Impulso al desarrollo de la sub-región. Revista Energética. (España) 23, (3): 3-7, Julio-Agosto- Septiembre-1999.
- Energy use and carbon emissions: Some International Comparisons .U.S Department of energy. Tomado De: <http://www.eia.doe.gov/>, September 1990.

- Faires, Virgil Moring. Termodinámica/ Virgil Moring Faires.—La habana: Edición Revolucionario, 1986. 845p.
- Fernández Condes, Emilio. Termodinámica Técnica/ Emilio Fernández Conde.-- La Habana. Editorial Félix Varela, 1994.--117p
- Gestión Energética Empresarial..—Cienfuegos; Universidad de Cienfuegos, 2001--81p.
- Instalaciones Frigoríficas/ Dr. Manuel J. Monteagudo García...[et.al.]—La Habana: Editorial de Libros Para La Educación, 1986. —499p/.
- Levy, Jacques. The book of Energy. Tomado De: www.landisstaefa.com/jlevy/book/Inden.htm, 2003.
- López Borrero, David Javier. Propuesta de Gestión Energética bajo la concepción de la ISO 9000 para la industria Colombiana/ David Javier López Borrero; Aníbal Borroto Nordelo Tutor. —Trabajo de diploma, Universidad de Cienfuegos, (C.F.) 2001. —90h.
- Parsons, Robert A, Equipment Manual. ASHRAE. Tomado De: http://www.ashrae.org/content/ASHRAE/ASHRAE/ArticleAltFormat/2003627101838_457.pdf.
- Stoecker, W. F. Refrigeración y Acondicionamiento de Aire / W. F. Stoecker. — España; Ediciones del Castillo. 1976.-- 406p.
- Stolovich L, Salvador S, El sector Energía en América Latina. Instituto del Tercer Mundo. Montevideo. Tomado De: <http://www.oas.org>, 1997.
- STOLOVICH, L. Energía y banca multilateral en América Latina: Contradicciones entre la realidad y el discurso. Instituto del Tercer Mundo. Montevideo. <http://www.fp.chasque.apc.org/energy/español.html/>, 2003.
- Tarifas para el suministro y venta de energía eléctrica". CFE. Gerencia Comercial.2001. Tomado De: <http://www.cfe.gob.mx/gercom/control/tarif100.html>.
- The ASHRAE Handbook.—[s.l.:s.n.],1998.—[C.D]
- Universidad de Florida. The Energy and Resource Conservation. Tomado De: www.co.broward.fl.us, 2000.

- Washington State University Energy Program Energy Audit Workbook. Tomado De: <http://www.energy.wsu.edu/ftpep/pubs/rem/energyaudit/audit2.pdf>.

Anexo I: Hoja de datos de seguridad del Amoniaco.

MEZCLAS PELIGROSAS DE OTROS LÍQUIDOS, SÓLIDOS O GASES

El Amoniaco es inflamable sobre un rango estrecho en aire. Reacciona vigorosamente con flúor, cloro, ácido clorhídrico, ácido bromhídrico, cloruro de nitrosilo, cloruro de dicromilo, difluoruro de trioxígeno, dióxido de nitrógeno, tricloruro de nitrógeno y otros ácidos fuertes ó agentes oxidantes.

PROPIEDADES FÍSICAS

| | |
|---|---|
| PUNTO DE EBULLICIÓN -28.1°F (-33.4°C) | DENSIDAD DEL LÍQUIDO AL PUNTO DE EBULLICIÓN 42.7 lb/ft3 (684 kg/m3) |
| PRESIÓN DE VAPOR a 70° F (21.1°C) 129.1 psia (889 kPa) | DENSIDAD DEL GAS a 70°F, 1 ATM. 0.044 lb/ft3 (0.713 kg/m3) |
| SOLUBILIDAD EN AGUA Muy soluble con liberación de calor | PUNTO DE CONGELAMIENTO -107.91°F (-77.7°C) |
| APARIENCIA Y OLOR Gas incoloro con olor picante | |

INFORMACIÓN SOBRE RIESGOS DE FUEGO Y EXPLOSIÓN

| | | |
|--|---|---|
| PUNTO DE IGNICIÓN (MÉTODO USADO) Gas | TEMPERATURA DE AUTOIGNICIÓN 1,274°F (690°C) | LÍMITES DE INFLAMABILIDAD % POR VOLUMEN Inferior 16 Superior 25 |
| METODO DE EXTINCIÓN Agua | | CLASIFICACIÓN ELÉCTRICA Clase 1 Grupo D |
| PROCEDIMIENTOS ESPECIALES PARA COMBATIR INCENDIOS Si es posible sin riesgo, detenga el flujo del gas. Ya que el amoniaco es soluble en agua, este es el mejor medio de extinción, no sólo por extinguir el fuego, sino también por absorber el gas que escapa. Use chorro de agua para enfriar los contenedores circundantes hasta que el fuego se apague completamente. | | |
| PELIGROS INUSUALES DE FUEGO Y EXPLOSIÓN Los cilindros expuestos al fuego o al calor pueden ventearse rápidamente o explotar. Los gases que son desprendidos de las llamas pueden causar contaminación. Al combinarse con mercurio puede formar compuestos. | | |

DATOS DE REACTIVIDAD

| | | |
|---|-----------------------|--|
| ESTABILIDAD | | CONDICIONES A EVITAR Debe evitarse cualquier sistema que contenga mercurio. |
| INESTABLE | ESTABLE X | |
| INCOMPATIBILIDAD (MATERIALES A EVITAR) Vea mezclas peligrosas de otros líquidos, sólidos o gases. | | PRODUCTOS DE DESCOMPOSICIÓN PELIGROSOS Hidrógeno a muy altas temperaturas (1,544°F: 840°C) |
| RIESGO DE POLIMERIZACIÓN | | CONDICIONES A EVITAR Ninguna |
| PUEDE OCURRIR | NO OCURRE X | |

MEZCLAS PELIGROSAS DE OTROS LÍQUIDOS, SÓLIDOS O GASES

El Amoniaco es inflamable sobre un rango estrecho en aire. Reacciona vigorosamente con flúor, cloro, ácido clorhídrico, ácido bromhídrico, cloruro de nitrosilo, cloruro de dicromilo, difluoruro de trioxígeno, dióxido de nitrógeno, tricloruro de nitrógeno y otros ácidos fuertes ó agentes oxidantes.

PROPIEDADES FÍSICAS

| | |
|---|--|
| PUNTO DE EBULLICIÓN -28.1°F (-33.4°C) | DENSIDAD DEL LÍQUIDO AL PUNTO DE EBULLICIÓN 42.7 lb/ft ³ (684 kg/m ³) |
| PRESIÓN DE VAPOR a 70° F (21.1°C) 129.1 psia (889 kPa) | DENSIDAD DEL GAS a 70°F, 1 ATM. 0.044 lb/ft ³ (0.713 kg/m ³) |
| SOLUBILIDAD EN AGUA Muy soluble con liberación de calor | PUNTO DE CONGELAMIENTO -107.91°F (-77.7°C) |
| APARIENCIA Y OLOR Gas incoloro con olor picante | |

INFORMACIÓN SOBRE RIESGOS DE FUEGO Y EXPLOSIÓN

| | | |
|--|---|---|
| PUNTO DE IGNICIÓN (MÉTODO USADO) Gas | TEMPERATURA DE AUTOIGNICIÓN 1,274°F (690°C) | LÍMITES DE INFLAMABILIDAD % POR VOLUMEN Inferior 16 Superior 25 |
| METODO DE EXTINCIÓN Agua | | CLASIFICACIÓN ELÉCTRICA Clase 1 Grupo D |
| PROCEDIMIENTOS ESPECIALES PARA COMBATIR INCENDIOS Si es posible sin riesgo, detenga el flujo del gas. Ya que el amoniaco es soluble en agua, este es el mejor medio de extinción, no sólo por extinguir el fuego, sino también por absorber el gas que escapa. Use chorro de agua para enfriar los contenedores circundantes hasta que el fuego se apague completamente. | | |
| PELIGROS INUSUALES DE FUEGO Y EXPLOSIÓN Los cilindros expuestos al fuego o al calor pueden ventearse rápidamente o explotar. Los gases que son desprendidos de las llamas pueden causar contaminación. Al combinarse con mercurio puede formar compuestos. | | |

DATOS DE REACTIVIDAD

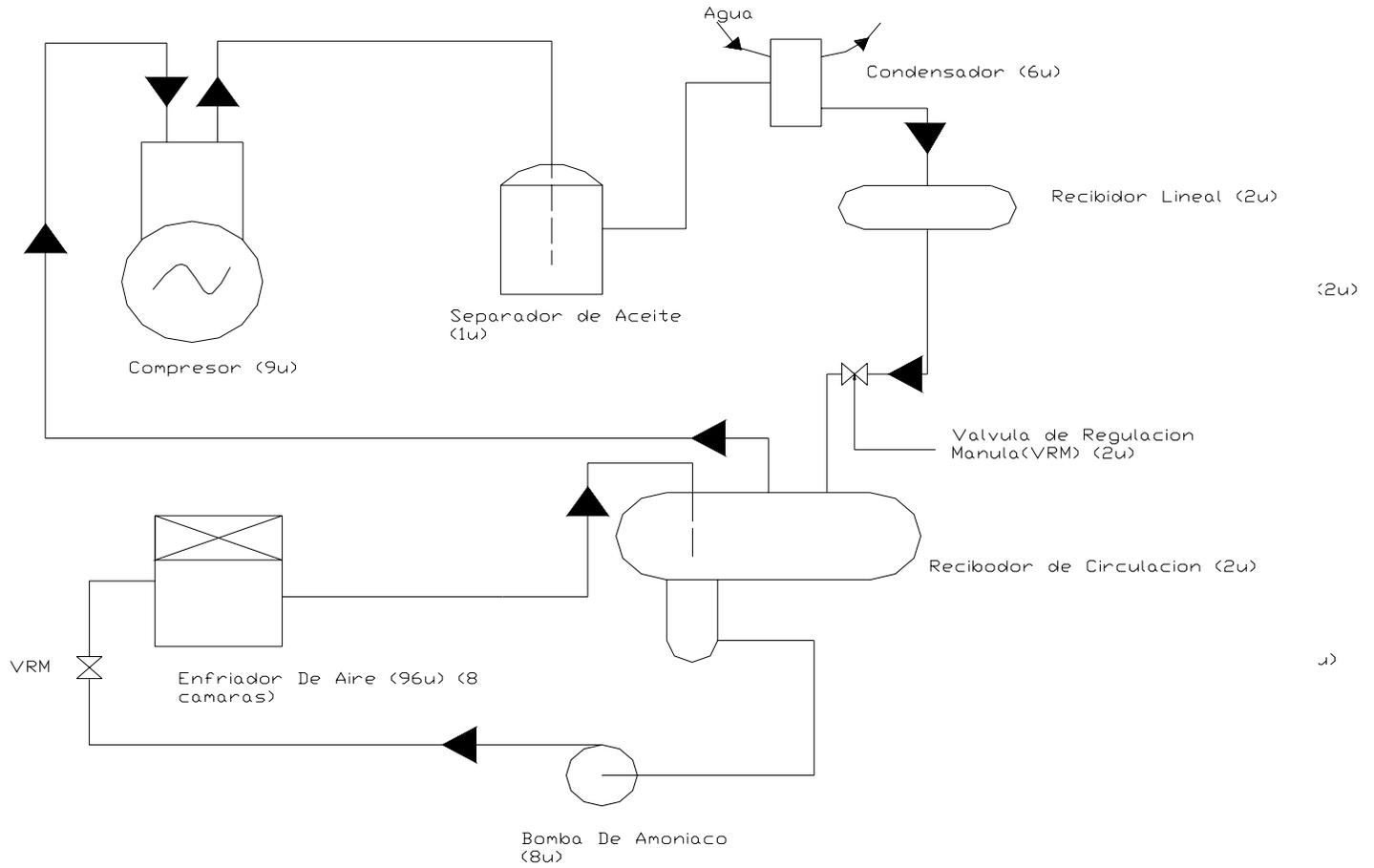
| | | |
|---|-----------------------|--|
| ESTABILIDAD | | CONDICIONES A EVITAR Debe evitarse cualquier sistema que contenga mercurio. |
| INESTABLE | ESTABLE X | |
| INCOMPATIBILIDAD (MATERIALES A EVITAR) Vea mezclas peligrosas de otros líquidos, sólidos o gases. | | PRODUCTOS DE DESCOMPOSICIÓN PELIGROSOS Hidrógeno a muy altas temperaturas (1,544°F: 840°C) |
| RIESGO DE POLIMERIZACIÓN | | CONDICIONES A EVITAR Ninguna |
| PUEDE OCURRIR | NO OCURRE X | |

| | | |
|--|--|---|
| INFRA S.A. DE C.V. FELIX GUZMÁN NO. 16 53398 NAUCALPAN DE JUÁREZ EDO. DE MÉXICO TEL. DE CONMUTADOR : 53-29-30-00 TELS. DIRECTOS VENTAS. GASES ESPECIALES: 53-29-30-39 GASES INDUSTRIALES: 53-29-30-44 GASES MEDICINALES: 53-29-30-42 | NOMBRE DEL PRODUCTO Amoniaco | No. CAS: 7664-41-7 |
| | NOMBRE COMERCIAL Y SINÓNIMOS Amoniaco, Amoniaco Anhidro | |
| FECHA: JULIO 2004. NO. DE REVISIÓN: 3 | NOMBRE QUÍMICO Y SINÓNIMOS Amoniaco, Amoniaco Anhidro | |
| TELÉFONO PARA EMERGENCIAS (24 HRS.) 01800-221-98-44 (01-55) 5310-6799 SERVICIO AL CLIENTE : 01 800 221 98 44 01-800 712 2525 | FÓRMULA= NH3 | FAMILIA QUÍMICA Hidruro de Nitrógeno |
| ANOTE AQUÍ EL TELÉFONO LOCAL DE LA SUCURSAL INFRA MAS CERCANA PARA CUALQUIER EMERGENCIA | | |

INFORMACIÓN NECESARIA PARA LA PROTECCIÓN DE LA SALUD

| |
|---|
| LÍMITE DE EXPOSICIÓN OSHA: PEL = 50 ppm, ACGIH: = 25 ppm, STEL = 35 ppm |
| SÍNTOMAS DE EXPOSICIÓN Corrosivo e irritante a la piel, a los ojos, al sistema respiratorio superior y membranas mucosas. Dependiendo de la concentración inhalada, puede causar sensaciones de quemadura, tos, falta de respiración, pérdida de aliento, dolor de cabeza, náuseas con eventual desvanecimiento. A bajas concentraciones el vapor puede causar dermatitis (inflamación de la piel) ó conjuntivitis (inflamación de los ojos). A altas concentraciones el contacto del vapor ó el líquido causa quemaduras e inflamación de la piel, hinchazón de los ojos con posible pérdida de la visión. La rápida evaporación del líquido en contacto con la piel o los ojos causa quemaduras criogénicas o congelamiento. Los síntomas de congelamiento incluyen el cambio en la coloración de la piel al gris o blanco posiblemente seguido de ampollamiento. |
| PROPIEDADES TOXICOLÓGICAS Inhalación: Afecta el tracto respiratorio (laringe y bronquios) por causar quemaduras caústicas resultado de la formación de fluido anormal y enumonitis química (inflamación profunda de los pulmones). Si llega a entrar profundamente a los pulmones causa edema pulmonar (exceso de formación de fluido en los pulmones). La exposición a niveles tóxicos causa quemaduras caústicas y lesiones profundas resultando en la destrucción y cicatrización de la piel. Las quemaduras en los ojos resultan en lesiones con posible pérdida de la visión. El amoniaco no está catalogado por las Asociaciones IARC, NTP u OSHA Subparte Z como material carcinógeno o potencialmente carcinógeno. |
| TRATAMIENTO Y PRIMEROS AUXILIOS RECOMENDADOS ATENCIÓN MÉDICA INMEDIATA ES REQUERIDA EN TODOS LOS CASOS DE SOBREEXPOSICIÓN A AMONIACO. EL PERSONAL DE RESCATE DEBE ESTAR EQUIPADO CON EQUIPO DE PROTECCIÓN APROPIADO (EQUIPO DE RESPIRACIÓN AUTÓNOMO, ETC.) PARA PREVENIR EXPOSICIÓN INNECESARIA. Inhalación: Traslade a la persona hacia un área descontaminada. Si no respira, aplique respiración artificial y quieta. Coloque a la víctima en una posición adecuada para evitar que la mucosa o el material vomitado sea aspirado. Bríndele atención médica inmediata. Contacto con los ojos: PERSONAS CON EXPOSICIÓN POTENCIAL A AMONIACO NO DEBEN USAR LENTES DE CONTACTO. Enjuague cuidadosamente los ojos con grandes cantidades de agua. Abra completamente los párpados para asegurar el enjuague completo. Continúe por un mínimo de 15 minutos. Contacto con la piel: Enjuague el área afectada con grandes cantidades de agua. Elimine la ropa afectada tan rápida y cuidadosamente como sea posible. Continúe enjuagando con agua. Contacto con la piel o congelamiento: Remueva la ropa contaminada y enjuague las áreas afectadas con agua tibia. NO USE AGUA CALIENTE. Deberá brindarse la atención inmediata de un médico en caso de que la "quemadura" criogénica provoque ampollamiento de la superficie de la piel o congelamiento profundo del tejido. |

Anexo II: Diagrama Monolineal Simplificado de tuberías de la instalación Frigorífica.



Anexo III al X: Fotos del Frigorífico De Cienfuegos.

Anexos III al X Fotos del Frigorifico de Cienfuegos.



Anexo III Compresor



Anexo IV Empalme de tuberías de succión y descarga de los compresores.



Anexo V Separador de aceite



Anexo VI Sala de Maquinas



Anexo VII Recibidores de Circulación.



Anexo VIII Condensadores



Anexo IX Interconexion de Equipos de enfriamiento.



Anexo X Estacion de bombeo del agua de enfriamiento.

