

Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Mecánica



Análisis teórico para la selección de sistema o cambio tecnológico de cámara frigorífica 2-8°C de la Empresa Comercializadora y Distribuidora de Medicamentos, EMCOMED

Tesis en opción al título de Ingeniero Mecánico

Autor: Jesús Daniel Cortés Torres

Tutores: Dr.C Sergio Monteller Hernández
Ing. Reinaldo Barrisonte Capella

“Año 64 de la Revolución”

Cienfuegos, 2022

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Hago constar que el presente trabajo fue realizado en la Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”, como parte de la culminación de los estudios de la carrera de Ingeniería Mecánica, autorizando además que el mismo sea utilizado por la institución para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial o total; y por tanto no podrá ser presentado en eventos, ni publicado sin la aprobación de la institución y el autor.

Firma del autor.

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido revisado y el mismo cumple los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura, referido a la temática señalada.

Información Científico Técnico
Nombre y Apellidos. Firma.

Vice Decano.
Firma.

Firma del Tutor. Nombre y Apellidos.

Sistema de Documentación y Proyecto.
Nombre y Apellido. Firma.

Dedicatoria:

A mis padres por ser ejemplo de incondicionalidad y dedicación durante toda mi vida.

A mi hermana por estar siempre para mí.

A mis abuelos por estar siempre para mí en todo momento y ser un pilar en mi vida.

Agradecimientos:

A mis tutores, Sergio M. y Reinaldo B. Capellá por ser mis guías durante la investigación, por su valiosa contribución y por todo el tiempo dedicado.

A mis amigos y amigas por los innumerables momentos que hemos compartido juntos.

A mi suegra Mirtha por ser tan especiales conmigo, por haberme acogido en su familia como a un hijo.

A mis compañeros de aula por todos los maravillosos momentos que compartimos durante los 6 años de la carrera, por la reciprocidad y por todo el tiempo y momentos que pasamos juntos.

A mis profesores por contribuir día a día en mi crecimiento profesional.

A Yarlenys por quererme tal y como soy, por regalarme los tres años más felices de mi vida y por hacerme sonreír día tras día, aún en los más difíciles momentos.

A mi familia en general por ser los mejores, por compartir momentos incomparables y por sentirse orgullosos de mí.

A mis padres por ser los mejores papás del mundo, a ustedes no tengo palabras para agradecerles todo lo que han hecho de mí, los adoro.

A todos.....

¡Gracias!

Resumen

El presente trabajo surge a partir de la necesidad de conservar los medicamentos termolábiles en la Empresa Comercializadora y Distribuidora de Medicamentos, EMCOMED. Servirá para determinar la factibilidad de mantener la tecnología existente, aplicando una reconversión de sistema (R-22 a R-407), teniendo en cuenta la eliminación del R-22 por su alto impacto en el aumento del calentamiento global, o la adquisición de un nuevo sistema. Actualmente la rotura de dicha cámara de conservación limita la capacidad de almacenamiento de dicho producto incidiendo negativamente en el proceso logístico de la entidad.

EMCOMED cuenta con tres cámaras unidas entres si, con temperaturas que van desde los 25°C para la conservación y empaquetado de encapsulados hasta 2°C para los medicamentos termolábiles; de ellas dos cuentan con sistemas marca Bitzer con 6 años de explotación, desarrollando el trabajo en la cámara de procedencia alemana marca Copeland, con más de 10 años de explotación.

Al sucederse una fuga en la zona de alta presión del equipo debido a la degradación del sello del visor de líquido, se procedió a la realización de los cálculos pertinentes para estimar la opción más viable, realizando valoraciones de eficiencia energética y frigorífica, así como el impacto económico de ambas propuestas.

Palabras claves

- Refrigeración
- Medicamentos termolábiles
- Cargas Térmicas
- Reconversión

Summary

This work arises from the need to conserve the thermolabiles medicines in the company Comercializadora y Distribuidora de Medicamentos, EMCOMED. It will serve to determine the feasibility of maintaining the existing technology, applying a system reconversion (R-22 to R-407), taking into account the elimination of R-22 due to its high impact on the increase of global warming, or the acquisition of a new system. Currently, the breakage of this storage chamber limits the storage capacity of this product, which has a negative impact on the organisation's logistical process.

EMCOMED has three chambers linked together, with temperatures ranging from 25°C for the preservation and packaging of encapsulated products to 2°C for thermolabiles medicines; two of them have Bitzer systems with 6 years of operation, while the German Copeland chamber, with more than 10 years of operation, has been in operation for more than 10 years.

When a leak occurred in the high-pressure area of the equipment due to the degradation of the liquid sight glass seal, the relevant calculations were carried out to estimate the most viable option, carrying out energy and cooling efficiency assessments, as well as the economic impact of both proposals.

Key Words:

- Cooling
- Thermolabiles medicines
- Thermal charges
- Reconversion

Índice

Resumen.	IV
Introducción.	9
1 Capítulo I Estado del Arte.	13
1.1 Desarrollo histórico de la refrigeración.	13
1.2 Situación energética a nivel mundial.	17
1.3 La refrigeración y el medio ambiente.	19
1.4 Sistemas de refrigeración industriales para la conservación de medicamentos. La refrigeración y el R-407C.	21
1.5 Cámaras frías para conservación de medicamentos.	25
1.6 Conclusiones parciales.	27
2 Capítulo II. Metodología de cálculo de cargas térmicas para la selección de un nuevo sistema de refrigeración y para la reconversión de sistemas	29
2.1 Introducción.	29
2.2 Reconversión de sistema.	29
2.3 Metodología para la reconversión de sistemas.	29
2.4 Estudio de caso EMCOMED.	29
2.4.1 Análisis teórico del desempeño del equipo con el refrigerante existente y luego de su reconversión.	32
2.4.2 Comparación de los resultados obtenidos.	33
2.4.3 Selección para nuevo sistema de refrigeración	34
2.4.4 Condiciones de diseño de la cámara de 2-8°C de la Empresa Comercializadora y Distribuidora de Medicamentos, EMCOMED	45
2.4.5 Implementación de la metodología de cálculo de cargas térmicas	45
2.5 Conclusiones parciales	49

3	Capítulo III	50
3.1	Introducción	50
3.2	Análisis Económicos de las propuestas	50
3.3	Evaluación de los beneficios para la empresa en el ahorro energético	51
3.4	Análisis de los resultados de las propuestas planteadas	51
3.5	Conclusiones parciales	53
	Conclusiones generales	54
	Recomendaciones	55
	Bibliografía	56

Introducción

En el escenario global actual con la proliferación de diversas enfermedades que demandan el empleo creciente de medicamentos, la industria encargada del almacenamiento, conservación y distribución con este fin, enfrenta una difícil situación en el contexto de la agudización del bloqueo económico y financiero impuesto a nuestro país por los Estados Unidos y el impacto del COVID-19, que imposibilita una inmediata importación de productos, partes y piezas necesarias para mantener en óptimas condiciones de funcionamiento las cámaras existentes en la Empresa Comercializadora y Distribuidora de Medicamentos EMCOMED. Teniendo en cuenta lo antes señalado se hace necesario un correcto estudio para determinar el proceso más adecuado que permita mantener en óptimo funcionamiento las cámaras con que cuenta dicha entidad.

La Empresa Comercializadora y Distribuidora de Medicamentos, EMCOMED; cuenta con dos sistemas RCV(refrigeración por compresión de vapor) los cuales emplean R-404A, un refrigerante hidrofluorocarbonado que si bien, posee un potencial de calentamiento global elevado, sin dudas es una mejor opción al R-22, pero con el fin de abaratar costos, se decide reconvertir empleando R407C, refrigerante que se adapta sin problemas a las temperaturas y condiciones de trabajo requeridas y que posee la referida empresa el cual fue adquirido con anterioridad.

El R-407C es una magnífica opción para sustituir al R-22 ya que es comparativamente mejor a otras opciones en cuanto a capacidad y eficiencia sin perjudicar la capa de ozono, posee un mejor punto de ebullición(-45°F) a diferencia del R-22(-41.5°F), además de que mantiene un peso molecular similar al R-22 entre de sus propiedades físicas, lo cual le permite operar sin necesidad de hacer cambios en las VET(válvulas de expansión termostáticas o capilar) aunque si es fundamental la sustitución del lubricante alquilbenceno empleado en el R-22 y sustituirlo por lubricante Polioléster.

Por otro lado, y en vistas a mantener la eficiencia energética y a su vez, renovar la tecnología existente se propone otra alternativa a la sustitución de refrigerante y no es más que el cambio total del equipamiento existente, por uno nuevo, aplicando la

metodología adecuada que nos permita realizar una comparativa para determinar la opción más viable que represente un beneficio no solo a la empresa sino para el país.

Problema:

Se necesita determinar, realizando los análisis pertinentes la mejor variante a emplear para poner en funcionamiento la cámara de 2-8°C de la Empresa Comercializadora y Distribuidora de Medicamentos, EMCOMED para la conservación óptima de los medicamentos termolábiles.

Hipótesis:

El análisis de las alternativas planteadas le permitirá a la empresa EMCOMED seleccionar la opción más viable para poner en funcionamiento la cámara frigorífica y de esta forma lograr la conservación eficiente de los medicamentos termolábiles.

Objetivo:

Determinar la variante idónea a emplear para poner en funcionamiento la cámara de 2-8°C de la Empresa Comercializadora y Distribuidora de Medicamentos, EMCOMED.

Objetivos específicos:

1. Estudio y análisis de selección o reconversión de sistemas.
2. Realización de análisis del estudio de caso EMCOMED.
3. Desarrollo de metodología de cálculo de reconversión y de cargas térmicas.
4. Valoración económica de las propuestas.

1. Capítulo I. Estado del Arte

1.1. Desarrollo histórico de la refrigeración

1.2. Situación energética a nivel mundial.

1.3. La refrigeración y el Medio ambiente.

1.4. Sistemas de refrigeración industriales para la conservación de medicamentos. La refrigeración y el R-407C.

1.5. Cámaras frías para conservación de medicamentos.

Conclusiones parciales del capítulo.

Capítulo II. Metodología de cálculo de cargas térmicas para selección de un nuevo sistema de refrigeración y para la reconversión de sistemas.

2.1. Introducción

2.2. Reconversión de sistema

2.3. Metodología para la reconversión de sistemas.

2.4. Estudio de caso EMCOMED.

2.4.1. Análisis teórico del desempeño del equipo con el refrigerante existente y luego de su reconversión.

2.4.2. Comparación de los resultados obtenidos.

2.4.3. Selección para nuevo sistema de refrigeración.

2.4.4. Fuentes de cargas térmicas

2.4.5. Condiciones de diseño de la cámara de 2-8°C de la Empresa Comercializadora y Distribuidora de Medicamentos EMCOMED

2.4.6. Implementación de la metodología de cálculo de cargas térmicas

Conclusiones parciales del capítulo.

Capítulo III. Resultados y propuesta de las variantes

3.1. Introducción

3.2. Análisis económico de las propuestas.

3.3. Evaluación de los beneficios para la empresa en el ahorro energético

3.4. Análisis de los resultados de las propuestas planteadas.

Conclusiones parciales

3.6. Conclusiones generales

Conclusiones.

Recomendaciones.

Bibliografía.

Anexos.

CAPITULO I. Estado del arte

1.1. Desarrollo histórico de la refrigeración.

El arte de la refrigeración basado en hielo natural es muy antiguo. Se practicó mucho antes de construirse cualquier máquina térmica. Escritos chinos, anteriores al primer milenio a J.C. describen ceremonias religiosas para llenar en invierno y vaciar en verano sótanos de hielo. Griegos y romanos comprimían la nieve en pozos aislados con pasto, paja y ramas de árboles. La nieve comprimida se convertía en hielo para ser usado en épocas de mayor calor. La paja impedía la conducción del calor desde la tierra más caliente y la forma de las vasijas, poco profundas y de una gran superficie, facilitaba la evaporación y la pérdida de calor por radiación. Esta práctica la describe Peclet y ha llegado hasta casi mediados del siglo XX en algunas zonas rurales catalanas. Otros escritos antiguos describen cómo los egipcios, hindúes y otros pueblos, empleaban procedimientos para producir hielo artificialmente, en general parecidos en sus principios. Hasta mediados del siglo XIX existían navieras especializadas que transportaban miles de toneladas de hielo de Suecia y de los Grandes Lagos de Estados Unidos y Canadá a las Indias orientales, Australia, las Antillas y América del Sur.(Ortega Morales, C.,2013, p1).

1.1.2 Primeros métodos artificiales: Las mezclas refrigerantes

La utilización de los procesos químicos mediante mezclas refrigerantes se puede considerar como una etapa intermedia entre el frío natural y el frío artificial. Desde la antigüedad se conocía que añadiendo ciertas sales, como por ejemplo el nitrato sódico, al agua, se consigue disminuir su temperatura procedimiento utilizado en la India en el siglo IV y durante la dominación musulmana en la península Ibérica.

En 1553 médico español, Blas Villafranca se ocupaba, en su libro, editado en Roma, del enfriamiento del agua y el vino por medio de mezclas refrigerantes, nombrando por primera vez la palabra refrigerar en el sentido de lograr y mantener una temperatura inferior a la del ambiente. En 1607 se descubrió que podía utilizarse una mezcla de agua con sal para congelar el agua.

En el siglo XVII, las mezclas refrigerantes son utilizadas en la investigación científica por Robert Boyle y por el astrónomo físico francés Philippe Laire; más tarde, en el siglo XVIII, físicos y químicos emplean mezclas refrigerantes en el laboratorio.

En el siglo XIX numerosos científicos como: Von Karsten en 1840, Hanemann en 1864, Rüdorff en 1869, Pfandler en 1875 y Brendel en 1892 estudiaron las leyes que rigen las mezclas frigoríficas, y las mezclas de hielo y sal común, que permiten disminuir la temperatura hasta $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, las que se emplearon corrientemente para congelar productos alimenticios.

La refrigeración mecánica, producida consumiendo trabajo con una máquina funcionando continuamente, se obtuvo por diversos caminos pero todos basándose en la expansión de un fluido, que puede efectuarse sin cambio de fase (despresurización de un gas) ó, lo más frecuente, con cambio de fase (evaporación de un líquido), que a su vez se haya recalentado a la presión atmosférica o menor.

En la literatura anglosajona, la primicia de la obtención de frío por evaporación se adjudica a William Cullen (Hamilton 1712 - Glasgow 1790), (Ortega Morales, C., 2013, p3) observó que, independientemente de las condiciones ambientales, se podía producir hielo mecánicamente, evaporando líquidos volátiles, y en 1755, publicó en Edimburgo un trabajo científico titulado *Essay on Cold Produced by Evaporating Fluids*, en el que escribió:

- Antoine Baumé, provocó frío artificial gracias a que desde el año 1730 ya se disponía de éter etílico, descubierto por el médico Segismundo Augusto Frobenius.
- Ni Cullen ni Baumé explotaron su descubrimiento ni construyeron máquinas para elaborar hielo, a pesar de poseer éter nitroso que, en un vacío elevado, herviría a una temperatura suficientemente baja como para congelar el agua, y disponer de la bomba con la que podían hacer vacío continuamente.

Se hicieron otros descubrimientos en la misma línea; y así, alrededor de 1761, Joseph Black, alumno de Cullen, desarrolló su la teoría del calor latente de fusión y evaporación. Pocos años después, en 1744, Priestley descubrió el amoníaco y el dióxido de carbono, que mostraron poseer propiedades termodinámicas convenientes para ser usados en refrigeración.

Ninguno de estos aparatos pasó de la etapa de laboratorio, hasta 1866 no se consiguió un aparato de uso comercial con este sistema, el que patentó Edmond Carré. El aparato se empleaba para enfriar garrafas de agua; el cuello de la garrafa se adaptaba al tubo de aspiración de la bomba, en 2 ó 3 minutos la temperatura del agua descendía de 30°C a °C y llegaba a congelarse completamente de 20 a 25 minutos. El éxito de este aparato, en el ámbito doméstico y de restauración, fue muy grande.

Sin embargo, no se reconoce un sólo nombre la paternidad de la refrigeración en la medida en que se le reconoce a Watt la de la máquina de vapor. Oliver Evans, el americano que desarrolló la máquina de vapor de alta presión, fue quizás el primero en proponer el uso de ciclos cerrados en refrigeración; su idea la sugirió en un tratado aparecido en Filadelfia en 1805.

Jacob Perkins, proveniente del campo de los generadores de vapor inventó el primer sistema de compresión de vapor, usando vapor condensable, al igual que Cullen y Beaumé, como medio refrigerante.

El posterior desarrollo de la refrigeración continua tuvo tres centros:

Europa (destacando Gran Bretaña), Australia y los Estados Unidos: refrigeración para sus industrias de lechería, cerveza y destilación, e importar alimentos perecederos, en especial los británicos.

Australia: gran productor de carne y precisaba la refrigeración para poder vender sus productos en el extranjero.

Estados Unidos: nación joven y dinámica donde florecía la inventiva.

Se considera que la primera máquina de refrigeración comercialmente con éxito fue diseñada por John Gorrie, médico que buscaba una máquina que produjera hielo y frío

para tratar a sus pacientes de fiebre amarilla. El mismo realizó la descripción de su funcionamiento e hizo la solicitud de patente.

Descripción de su funcionamiento:

El empleo de un líquido incongelable a baja temperatura.

La expansión del aire condensado sea gradual, para obtener así todos sus efectos refrigerantes y al mismo tiempo aprovechar la fuerza mecánica con la que tiende a dilatarse, para ayudar a trabajar la bomba de condensación.

1. Suministrar el agua lenta y gradualmente a las vasijas de congelamiento.
2. El proceso de enfriar o congelar líquidos comprimiendo aire en un recipiente, extrayendo el calor producido en la compresión por medio de un chorro de agua, permitiendo que el aire comprimido se expanda en una máquina rodeada por un depósito de un líquido incongelable, que se inyecta continuamente dentro de la máquina y vuelve al depósito y que sirve como intermediario para absorber el calor del líquido que será enfriado o congelado.

Los principios de la refrigeración fueron difíciles, pues los constructores de máquinas refrigerantes imitaban las máquinas de vapor, de modo que los equipos eran de poco rendimiento y se averiaban frecuentemente. Los primeros diseñadores y constructores a menudo tuvieron que afrontar problemas de aceptación: se llegó a decir que el hielo artificial debía ser prohibido por la ley, basándose en la teoría de que era perjudicial para la salud, mientras que otros aseguraban que era una ofensa a la voluntad divina. Además el éter etílico era peligroso; así que para la refrigeración a bordo de buques se usaban exclusivamente ciclos de aire debido al peligro de incendio en alta mar que podía ocasionar el uso de éter inflamable. Pronto el éter dio paso al amoníaco, al dióxido de azufre y al dióxido de carbono.

La búsqueda culminó en 1930 cuando Thomas Midgley, Jr. de Dupont, anunció el primer fluorocarbono, el Freon-12, que condujo a la familia que ha dominado la refrigeración por compresión hasta que a finales de los 80, su efecto sobre la capa de

ozono (descubierto por Rowland y Molina en 1974) provocó la culminación de su uso internacionalmente dando paso a una nueva familia de fluidos frigoríficos.

1.2. Situación energética a nivel mundial.

La creciente escasez de recursos, unido a la desaparición de recursos provocados por el aumento poblacional, la industrialización y el consumo excesivo, amenazan a la humanidad y obliga de forma urgente a tomar medidas que permitan mitigar esta situación. La matriz energética mundial que inicialmente estuvo basada en combustibles fósiles está obligada a un cambio basado en energías alternativas del tipo renovables.

El mundo se encuentra en una difícil situación energética: por una parte, existe cada vez mayor demanda de energía y, por otra, las actuales fuentes tienen en su mayoría recursos limitados y su uso representa repercusiones ambientales indeseables. El crecimiento demográfico y económico en el mundo trae consigo que se consuma más energía, y las formas tradicionales en que se genera, en su mayoría a través de los combustibles fósiles, da como resultado importantes efectos (globalmente negativos) sobre el bienestar humano.

Los recursos naturales de nuestro planeta se usan a un ritmo acelerado, y si no se toman medidas al respecto, las condiciones de vida de los que vengan después que nosotros serán mucho peor a las que tenemos hoy en día.

Como principio la sostenibilidad requiere satisfacer las necesidades de las generaciones presentes, sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades; según los Principios 3ro y 4to de la Declaración de Río (1992), del Informe Brundtland (1987), Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas, de la Asamblea de las Naciones Unidas.

Existe una situación compleja asociada a que desde la amada Revolución Industrial hasta nuestros días, los procesos industriales se desarrollan quemando combustibles fósiles (petróleo, gas y sus derivados, como la gasolina y el diésel) y aprovechando de manera desmedida los recursos naturales de nuestro planeta. Estas actividades están cambiando la composición de la atmósfera terrestre, emitiendo más gases y

compuestos de efecto invernadero que pueden permanecer en la atmósfera hasta por más de 50 años. Si bien en la actualidad más de la mitad del CO₂ emitido tarda un siglo para eliminarse de la atmósfera, una parte del CO₂ (cerca del 20 por ciento) se mantiene en la atmósfera durante muchos milenios.

En los últimos 800 mil años, las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso han aumentado a niveles sin precedente. Las concentraciones de dióxido de carbono se han elevado en un 40 por ciento desde la era preindustrial debido, en primer lugar, a las emisiones derivadas de los combustibles fósiles y, en segundo lugar, a las emisiones netas derivadas del cambio de uso del suelo. Los océanos han absorbido alrededor del 30 por ciento del dióxido de carbono antropogénico, provocando su acidificación.

Implementar acciones urgentes sobre el cambio climático es crítico para reducir su impacto. El Acuerdo de París establece un objetivo para limitar el aumento de la temperatura media global a muy por debajo de 2 °C por encima de los niveles preindustriales e intentar limitar el aumento a 1.5 °C. (Wikipedia. 2015). Implícito en estos objetivos está la necesidad de una transición a un sector energético bajo en carbono, que represente dos tercios de las emisiones globales.

La demanda mundial de energía todavía se satisface esencialmente con combustibles fósiles (30 por ciento de petróleo, 27 por ciento de carbón y 20 por ciento de gas).

Las principales fuentes de producción de electricidad son a través del carbón (38 por ciento), gas (23 por ciento) e hidroeléctrica (16 por ciento). Las emisiones de CO₂ en el sector energético, después de permanecer estáticas durante tres años, aumentaron en 2017 y se espera un mayor crecimiento en los próximos años. El principal desafío que enfrenta el sector energético es crear un sistema que combine asequibilidad, confiabilidad y sostenibilidad.

Los cambios estructurales fundamentales en el sector energético, llamados transiciones de energía, ocurren en todo el mundo. La motivación, los objetivos y las prioridades para implementar las transiciones de energía difieren, pero en su mayoría podrían estar relacionados con el trilema de la energía; asegurar el suministro,

aumentar la competitividad mediante el uso de enfoques de menor costo y las preocupaciones ambientales, o una combinación de estos aspectos.

La demanda mundial de energía aumentará al menos en un cuarto entre hoy y 2040, principalmente en los países en vías de desarrollo, con India a la cabeza. Los niveles más altos de consumo se desplazarán en Asia, que será responsable de aproximadamente la mitad del crecimiento del gas, el 60 por ciento de la energía eólica y solar, más del 80 por ciento del petróleo y todo el crecimiento del carbón y la energía nuclear.

La eficiencia energética será crucial para mantener bajos los niveles de consumo, que de otro modo aumentarían para duplicar la cantidad estimada. La revolución del gas de esquisto continúa, liderada por Estados Unidos, el principal productor de petróleo y gas del mundo.

La demanda de gas natural está creciendo más en la industria y en 2030 superará al carbón para convertirse en el segundo combustible más grande en la combinación energética. La demanda de petróleo continuará creciendo como resultado de su uso en la industria petroquímica. Sin embargo, su empleo en automóviles alcanzará su punto máximo alrededor de 2025. El mercado petrolero está entrando en un periodo de alta incertidumbre y sin nuevos proyectos podría surgir una escasez en el suministro.

Los sistemas de refrigeración y climatización utilizados grandemente para la conservación de alimentos a nivel mundial y para el confort humano son grandes consumidores de energía eléctrica y la humanidad posee una dependencia directa de los mismos. Si esto se une el impacto ambiental asociado de las tecnologías de refrigeración, evidentemente existe una situación muy delicada que pone en riesgo la existencia de las especies en este planeta.

1.3. La Refrigeración y el Medio Ambiente.

La concienciación sobre la contaminación y el daño al planeta es, aunque no lo parezca, mucho más fuerte que hace varias décadas, cuando existía un total descontrol sobre las emisiones de todo tipo de contaminantes, a día de hoy sigue la lucha de la comunidad científica por disminuir en gran medida el daño que provocan los gases

refrigerantes al medio ambiente. Son dos las formas principales en las que los refrigerantes afectan a nuestro planeta: destruyendo la capa de ozono o contribuyendo al calentamiento global.

Desde el 2010 no se pueden utilizar compuestos CFC, lo cual ha supuesto una gran reducción del problema de la capa de ozono, de la cual su deterioro se ha ralentizado. Ello se dictaminó en el año 1987, quedando plasmado en el Protocolo de Montreal. Esos compuestos suponían un verdadero desastre, pues entraban en contacto con las emisiones UV del sol que quedaban retenidas por la capa de ozono, produciendo la liberación de radicales de cloro que deshacían las moléculas de ozono. Esto significa que, con ellos, estábamos, poco a poco, desprotegiéndonos del sol, pues la función principal del ozono es precisamente esa. El calentamiento global es una realidad producida debido a lo que se conoce como “efecto invernadero”, que no es otra cosa más que el reflejo de la emisión de temperatura, como ocurre en los invernaderos (de ahí el nombre). Esto hace que el planeta vaya tomando cada vez más grados, con las funestas consecuencias que ello conlleva. La ciencia ha comprobado que la liberación de los clorofluorocarbonos (CFCs) y de los Hidroclorofluorocarburo (HCFCs) afecta esta fina capa de la atmosfera superior de la tierra. Sí, estos refrigerantes son los únicos que dañan la capa de ozono. Por un lado, están los CFCs que tienen mayor poder destructivo y, por el otro, los HCFCs cuya incidencia es menor pero igualmente contribuyen con la destrucción de la capa de ozono. Los refrigerantes HCFCs están formulados a base de cloro, carbón, flúor e hidrogeno. Los más conocidos en este grupo son el R-22, R-123 y R-124, los sustitutos para estos, (en especial el R-22) son el R-410A, R-407C y R-134a. La Agencia Federal del Medio Ambiente Alemana estima, basándose en los valores conocidos de 2014, que en 2050 los gases fluorados supondrán un 7.9% de la temperatura en que el planeta se haya visto incrementada. En 2004 esa “aportación” fue del 1.9% pero se encuentra en claro ascenso.

Por estos motivos los desarrolladores de dichos refrigerantes se enfocan en desarrollar refrigerantes sintéticos alternativos menos dañinos, con bajos valores de PCA¹ y potenciando los gases refrigerantes naturales.

1.4. Sistemas de refrigeración industriales para la conservación de medicamentos. La refrigeración y el R-407C.

Sistema de refrigeración industrial.

Un sistema de refrigeración industrial es un sistema capaz de mantener a una determinada temperatura y humedad una cámara frigorífica en la que se almacena o procesa un producto concreto. Estos productos pueden ser desde frutas, hortalizas, carnes, pescados, hasta productos como: precocinados, helados, medicamentos o lácteos, en los que son necesarias unas condiciones de temperatura determinadas durante su procesado y después conservación o maduración.

Funcionamiento del ciclo de refrigeración industrial.

El principio de funcionamiento de un sistema de refrigeración industrial se basa en el hecho de que un fluido, al evaporarse, roba calor de su entorno. Los refrigerantes son fluidos especiales con un punto de evaporación muy bajo. Cuando dicho fluido entra al evaporador, este se evapora y roba calor de su entorno, concretamente del aire que pasa por el evaporador.

Dicho fluido evaporado pasa por un compresor donde se eleva su temperatura y presión, condiciones adecuadas para volver a ser condensado y, en dicho proceso de condensación, se cede el calor absorbido del medio a enfriar, al ambiente. Una vez condensado de nuevo, el fluido, en estado líquido, reduce su presión y se introduce de nuevo en el evaporador, comenzado de nuevo el ciclo de enfriamiento.

¹PCA (Potencial de Calentamiento Atmosférico), o GWP en inglés, para controlar cómo de nocivo es el refrigerante para el calentamiento global.

Construcción de cámaras frigoríficas

Normalmente están construidas a base de un elemento aislante que es el Panel Sándwich conformado por dos capas de acero pre-lacado que contiene en su interior un alma de espuma aislante (habitualmente poliuretano o poli-isocianurato) que es el elemento aislante que evita el traspaso de temperaturas de un lado al otro del elemento. Otro elemento importante de una cámara frigorífica es la puerta. Esta puede ser de diferentes tipos, pivotante, corredera, de lona aislante, etc. Su misión es la de permitir el paso al interior de la cámara en las condiciones más adecuadas y necesarias. Además de lo antes mencionado es imprescindible el adecuado estudio para la selección de un correcto equipo de refrigeración y su necesidad viene dada por distintos factores como el producto a almacenar, la temperatura a alcanzar en cámara o en el alma del producto, el salto de temperatura de entrada a la cámara a su mantenimiento, el tiempo de estancia del producto en la cámara, la rotación media de la mercancía, los metros cúbicos del recinto a refrigerar o la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la cámara. Todos estos valores deben ser estudiados y en base a ello se obtienen unas necesidades térmicas de refrigeración que nos darán unos valores que deberán alcanzar tales equipos frigoríficos. Otro apartado importante es el suelo. No todas las cámaras frigoríficas necesitan un suelo aislado. Las cámaras frigoríficas que vayan a trabajar en régimen de temperatura positiva (a 0°C o temperatura superior) no es necesario que lleven suelo, ahora bien, es conveniente el instalar aislamiento en el suelo siempre que necesitemos evitar condensaciones si la cámara se encuentra en una planta donde debajo exista construcción. Todas las cámaras de congelación deben tener suelo aislado, bien de panel más un refuerzo pisable o bien construido mediante una solera de hormigón aislada que permita el aislamiento térmico a temperaturas negativas.

Sectores en los que se implementan estos sistemas.

La refrigeración industrial está presente en diferentes procesos productivos:

Alimentaria: Tareas de conservación de alimentos, maduración de productos (frutas), procesado de alimentos precocinados, industrias cárnicas, lácteos y otros.

Industria química: En este sector suelen ser necesarios los gases a presión a temperaturas especiales en la fabricación de orgánicos, inorgánicos, pigmentos, plásticos, fibras, productos químicos. En la industria del petróleo se usa también el frío en los sistemas de control de presión del vapor o para cambiar relaciones de solubilidad.

Generación de energía: En ocasiones la generación de energía eléctrica se hace a través de equipos de combustión interna para los que es necesario sistemas de refrigeración industrial específicos.

Otros tipos de industrias como: Refrigeración de reactores, inertización de recipientes, purificación de emisiones, tratamientos biológicos y otros.

Características de las instalaciones para la conservación de medicamentos.

Las instalaciones están localizadas, diseñadas, construidas, adaptadas y mantenidas sobre la base del conocimiento de los productos y procesos, de tal forma que son apropiadas para las operaciones que se realizan en ellas. La ubicación y el diseño de las instalaciones reducen al mínimo el riesgo de errores y permiten una limpieza efectiva y mantenimiento del orden, a fin de evitar la contaminación cruzada, la acumulación de polvo o suciedad y, en general, cualquier efecto que constituya un riesgo sobre la calidad de los productos. El suministro eléctrico de las instalaciones, así como la iluminación, temperatura, humedad y ventilación son adecuados, de forma tal que no afecten adversamente, ya sea directa o indirectamente a los productos farmacéuticos durante su almacenamiento. (Chamizo et al., B. 2017., p27)

La refrigeración y el R-407C

El R-407C es una mezcla de gases refrigerantes HFC no azeotrópica, con cero agotamientos de la capa de ozono, utilizada en equipos nuevos de climatización y aire acondicionado.

También es un sustituto indirecto (retrofit²), en equipos de R-22 de temperaturas positivas y medias.

Puede llegar a sustituir al R-502 en aplicaciones nuevas y de reemplazo de temperatura media con temperaturas de evaporador por encima de -6.7 °C (20 °F).

Es un refrigerante similar al R-22 en cuanto a presiones de trabajo, capacidad y eficiencia energética para temperaturas positivas y medias de evaporación. Precisa el vaciado del aceite original ya sea mineral o alquilbencénico y su sustitución por un aceite sintético POE.

Las aplicaciones del R-407C son variadas pudiendo encontrarse en una amplia gama de productos destinados a diferentes ramas de la industria, así como la gama doméstica, algunos de estos ejemplos podemos encontrarlos en sistemas tales como: unidades Rooftop, sistemas de aire acondicionado domésticos y comercial, enfriadoras, equipos de conservación en supermercados, almacenamiento de alimentos y medicamentos, transporte frigorífico, etc.

Características y ventajas del R-407C:

- No daña la capa de ozono, ODP = 0.
- Precisa el cambio de aceite mineral o alquilbencénico por aceite sintético POE.
- Permiten mantener los equipos existentes.
- En caso de fuga, vaciar y realizar una carga completa nueva.
- Punto de ebullición a 1.013 bar(°C): - 43.5
- Deslizamiento de temperatura o glide (°C): 7.4
- Densidad vapor saturado a 25°C (kg/m³): 43,33
- Clasificación seguridad: A1. Baja toxicidad y no inflamable.

²Retrofit: consiste en el remplazo de los refrigerantes y/o lubricantes en equipos de refrigeración y aires acondicionados por productos no contaminantes para el planeta.

- Cargar siempre en fase líquida

1.5. Cámaras frías para la conservación de medicamentos.

Es sabido, y mucho más en estos momentos, que la disponibilidad de medicamentos tiene una gran importancia en nuestras vidas. Imaginemos que necesitáramos un medicamento que fuese vital para nosotros o para un ser querido y no pudiéramos disponer de él. Con la pandemia global que vivimos merece la pena hacer dicha reflexión. Además, es evidente que, para garantizar una buena disponibilidad de medicamentos, es necesario garantizar tanto su producción como la distribución de los mismos, pero hay otro punto igual de importante que es el almacenaje garantizando las condiciones de refrigeración y/o conservaciones óptimas de estos productos tanto en farmacias como hospitales.

¿Cuáles son las condiciones óptimas para la refrigeración y conservación de medicamentos?

Conservación de medicamentos termolábiles.

¿Qué tipo de equipo de refrigeración necesitaremos para conservar los medicamentos?

Tipos de recintos destinados a la refrigeración y conservación de medicamentos

¿Cuáles son las condiciones óptimas para la refrigeración y conservación de medicamentos?

Los medicamentos deberán estar almacenados en un área seca, protegidos del calor y de la luz, según las indicaciones expresadas en el envase, donde podremos encontrarnos con tres rangos diferenciados de temperatura:

Temperatura ambiente controlada: entre 20 y 25 °C, si bien este margen podría ampliarse temporalmente con relativa seguridad hasta los 30 °C. Se podrían llegar a admitir picos transitorios de hasta 40 °C siempre que no ocurran por un periodo superior a 24 horas.

Temperatura de refrigeración controlada: entre 2 y 8 °C, aunque este margen podría ampliarse temporalmente con relativa seguridad hasta los 15 °C, pudiendo admitirse picos transitorios de hasta 25 °C siempre que no ocurran por un periodo superior a 24

horas. Los medicamentos que requieran refrigeración controlada deberán ser alojados en la bandeja central del refrigerador. No se deben alojar en la puerta o parte superior de este ya que la temperatura en este lugar podría ser más alta.

Temperatura de congelación: entre -25 y -15 °C habitualmente empleada en la vacuna Anti-poliamida, aunque ciertos medicamentos podrían requerir temperaturas aún más bajas de -190 °C (se utiliza nitrógeno líquido), -70 °C (se recurre a la nieve carbónica).

Conservación de medicamentos termolábiles.

Los medicamentos termolábiles son aquellos medicamentos que requieren cadena de frío para poder conservarse y mantener su fórmula y actividad farmacológica de manera óptima, ya que pueden descomponerse y perder efectividad, perturbando la seguridad de este, si no se respetase estas temperaturas que varían entre los 2 y 8°C.(Manchego Urquiza, C. F., 2020 p33)

Si se superan estos valores, se pone en riesgo su estabilidad, la cual se verá más o menos afectada dependiendo de la gravedad de la rotura de la cadena de frío medicamentos termolábiles (dependiente de la temperatura y del tiempo de exposición). Los problemas que pueden suponer un peligro en la conservación de medicamentos termolábiles son:

- Averías en las unidades de refrigeración.
- Fallos / errores humanos durante el transporte.
- Errores por parte de los usuarios.
- Averías de los sistemas de domótica (alarmas, registros de temperaturas, etc.).

Por todo ello, actualmente, para el almacenamiento y conservación de medicamentos termolábiles se suelen instalar cámaras de refrigeración con sistemas automatizados. Además, usualmente se diseñan con más de un condensador y de un evaporador para que estos sirvan a modo de reserva de duplicidad, lo que implica que, incluso si uno de ellos fallase, la cámara seguiría manteniendo la cadena de frío. Aparte, estas instalaciones también incluyen sensores de la temperatura y alarmas para que se pueda actuar lo antes posible en caso de que se produzca un fallo.

¿Qué tipo de equipo de refrigeración necesitaremos para conservar los medicamentos?

En función del rango de temperatura que necesitemos mantener para conservar los medicamentos adecuadamente, también necesitaremos tres tipologías de equipos de refrigeración en función de la temperatura:

Ambiente controlado: Habitualmente este tipo de medicamentos se conservan a temperatura ambiente en un lugar fresco y seco, sin necesidad de ningún tipo de equipo de refrigeración, o en algunos casos, puede que sea necesaria la instalación de equipos de climatización.

Refrigeración controlada: Para alcanzar y garantizar este rango de temperatura, será necesaria la instalación de equipos de refrigeración a media temperatura, que han sido diseñados expresamente para mantener temperaturas comprendidas entre los -5 y +10 °C.

Congelación: Será necesaria la instalación de equipos de refrigeración a baja temperatura, que están diseñados expresamente para mantener temperaturas comprendidas entre los -25 y -15 °C.

Tipos de recintos destinados a la refrigeración y conservación de medicamentos.

En función del tamaño, nos podemos encontrar con una gran variedad de recintos dedicados al almacenamiento de medicamentos, como podrían ser: locales industriales y almacenes, cámaras frigoríficas, vitrinas y armarios frigoríficos, muebles frigoríficos, etc.

Conclusiones Parciales:

- La trazabilidad térmica de los productos farmacéuticos y la refrigeración en la industria farmacéutica no es un capricho ni una campaña de marketing de las empresas del sector, sino un requisito indispensable para garantizar la seguridad y la efectividad de los mismos, siendo muy importante, para ello, evitar las interrupciones de la cadena del frío que puedan producirse mediante una refrigeración de medicamentos inadecuada.

- El avance de la tecnología (y más concretamente de la Inteligencia artificial) ha facilitado en gran medida la trazabilidad de la cadena de frío para medicamentos.
- La concienciación y la educación sobre la importancia de la refrigeración en la industria farmacéutica es absolutamente indispensable para tomar medidas acordes a la peligrosidad de cada producto.

Capítulo II. Metodología de cálculo de cargas térmicas para selección de un nuevo sistema de refrigeración y para la reconversión de sistemas.

2.1. Introducción

En el capítulo se desarrolla una metodología para la reconversión de sistema de R-22 a R-407C. Además se efectúan los cálculos de las cargas térmicas de refrigeración y su posterior aplicación a la cámara de conservación de medicamentos de la Empresa Comercializadora y Distribuidora de Medicamentos EMCOMED, con el objetivo de conocer la carga térmica que demanda el enfriamiento de 4 toneladas de medicamento semi-sólidos en una superficie útil de 86m³. Este cálculo facilitará posteriormente la selección del sistema que se requiere a partir de las necesidades actuales en la empresa.

2.2. Reconversión de Sistema

La reconversión de sistemas es el proceso a partir del cual se puede utilizando una instalación existente adecuarla para el funcionamiento realizando cambios menores en el sistema como son el refrigerante y algunos componentes auxiliares.

2.3. Metodología de reconversión de sistemas

El método requiere seguir una secuencia de pasos que se reflejan en lo adelante que permite realizar el proceso de reconversión de cualquier sistema que cumpla con los requisitos.

- Diagnóstico del sistema de refrigeración a reconvertir
- Registro de los datos de base del rendimiento original del sistema
- Recuperación de la carga de refrigerante
- Registro de la cantidad de refrigerante recuperado
- Selección del correcto lubricante para el refrigerante sustituto
- Medición de la cantidad de lubricante extraído con anterioridad del sistema
- Recargar el sistema con lubricante sintético, emplear la misma cantidad extraída

- Retornar el R-22 y poner el equipo en marcha durante 24 horas para retornar el aceite mineral residual. Por lo general, lo admisible es hasta un 5% del aceite mineral residual.
- Evaluar si es necesario el cambio de los dispositivos de expansión
- Sustitución de los filtros secadores
- Comprobación de fugas y eliminarlas de existir alguna
- Cargar el sistema con R-407C verificando los parámetros de trabajo del mismo para ajustarlo a los requerimientos del sistema
- Comprobación del rendimiento del sistema luego del cambio de lubricante y refrigerante
- Etiquetado del sistema.

2.4. Estudio de caso EMCOMED.

Hoja de datos del sistema:

Año de fabricación: 2004

Tipo de sistema/localidad: Cámara fría/Cienfuegos

Fabricante del equipo: COPELAND

Modelo No. : ULC-39-2735-273D-14L

Número de serie/tamaño de la carga original: 040307772T/13.6Kg

Fabricante del deshidratador:

Modelo No. :

Fabricante del compresor: COPELAND

Modelo No. : D2DD3-50X-EWK

No. de serie: 2101568

Tipo de lubricante: Mineral

Tamaño de la carga del lubricante:

Tipo de deshidratador: __Relleno suelto __Centro sólido

Medio de enfriamiento del condensador: Aire

Aditamento de expansión: Válvula de expansión

Fabricante de la válvula de expansión:

Modelo No. :

Punto de control/ajuste: Ajuste del fabricante

Ubicación del sensor: 30cm de la salida del evaporador en la zona de succión.

Tabla 1. Parámetros del sistema y condiciones ambientales:

Referencia: Diseño propio

Refrigerantes	R-22	R-407C
Fecha/Hora	20/10/2022; 12:08pm	
Tamaño de la carga (Kg)	13.6	12.92
Temperatura ambiente (°C)	29	29
Humedad relativa (%)	85	85
Compresor		
Temperatura de succión(°C)	-20	-20
Presión de succión(PSI) (Psi)	26	32
Temperatura de descarga(°C)	40	34
Presión de descarga (Psi)	200	230
Temperatura de caja/accesorio(°C)	33.3	
Evaporador:		
Temperatura de entrada del refrigerante(°C)	16.3	-
Temperatura de salida del refrigerante(°C)	-12	-
Temperatura de entrada de aire del serpentín(°C)	4.5	-

Temperatura de salida de aire del serpentín(°C)	2.5	-
Temperatura de sobrecalentamiento (°C)	7.7	-
Condensador:		
Temperatura de entrada del refrigerante (°C)	78	-
Temperatura de salida del refrigerante (°C)	33	-
Temperatura de entrada de la bobina de aire (°C)	37	-
Temperatura de salida de la bobina de aire (°C)	33	-
Temperatura de entrada al aditamento de expansión(°C)	16.3	-
Amperaje del motor (Amp)	16	-
Tiempo de corrida/ciclo (Hz)	60	60
Comentarios		

Continuación de la tabla 1

(-)-Valores a obtener luego de realizada la reconversión.

Una vez que se realice el proceso de reconversión al 407C se está en condiciones de efectuar la comparación real del sistema y el ajuste a los parámetros de operación deseados.

2.4.1. Análisis teórico del desempeño del equipo con el refrigerante existente y luego de su reconversión.

Sistema original:

-Cálculo para la determinación del efecto refrigerante

(h1 - h4)

$$405\text{kJ/kg} - 250\text{kJ/kg} = 155\text{kJ/kg}$$

- Cálculo para determinar el Trabajo de compresión.

(h2 - h1)

$$450\text{kJ/kg} - 405\text{kJ/kg} = 45\text{kJ/kg}$$

-Cálculo para la determinación del Coeficiente de rendimiento (COP)

(h1 - h4)/ (h2-h1)

$$405\text{kJ/kg} - 250\text{kJ/kg} \div 450\text{kJ/kg} - 405\text{kJ/kg} = 3.4$$

Cálculos del sistema luego de aplicada la reconversión:

-Cálculo para la determinación del efecto refrigerante

$$(h1 - h4)$$

$$410\text{kJ/kg} - 250\text{kJ/kg} = 160\text{kJ/kg}$$

- Cálculo para determinar el Trabajo de compresión.

$$(h2 - h1)$$

$$458\text{kJ/kg} - 410\text{kJ/kg} = 48 \text{ kJ/kg}$$

-Cálculo para la determinación del Coeficiente de rendimiento (COP)

$$(h1 - h4) / (h2 - h1)$$

$$410\text{kJ/kg} - 250\text{kJ/kg} \div 458\text{kJ/kg} - 410\text{kJ/kg} = 3.3$$

2.4.2 Comparación de los resultados obtenidos.

Tabla 2. Resultados obtenidos.

Parámetros a valorar	Sistema original (R-22)	Sistema reconvertido(R-407C)
Efecto refrigerante	155kJ/kg	160kJ/kg
Trabajo de compresión	45kJ/kg	48 kJ/kg
Coeficiente de rendimiento	3.4	3.3

Realizando un rápido análisis de los resultados podemos concluir que luego de aplicado el proceso de reconversión se tendría un aumento del trabajo neto del compresor y una ligera pérdida de rendimiento global del sistema, pero a pesar de ello y debido a las características termodinámicas del nuevo refrigerante obtendríamos un aumento en el efecto refrigerante en nuestro sistema.

2.4.3 Selección para nuevo sistema de refrigeración

Se precisa realizar el cálculo de cargas térmicas en condiciones reales para luego seleccionar el equipamiento nuevo a instalar.

Fuentes de cargas térmicas

Cargas Exteriores:

- Cargas a través de paredes, techos y suelos: Existe un tipo de carga sensible, producto de la transferencia de calor que se da a través de las superficies de la edificación. Esta situación aportará un calor que hará que se aumente la temperatura del aire.
- Carga por infiltración: Las edificaciones cuentan con puertas y ventanas por medio de las cuales entra una cierta cantidad de aire del exterior que no es controlada; e induce en una cierta cantidad de carga latente y sensible.

Cargas Interiores:

- Cargas por producto: Se considera una de las cargas térmicas de mayor aporte en los sistemas de refrigeración considera la cantidad de producto refrigerar en un tiempo determinado hasta la temperatura de diseño interior de una cámara.
- Cargas por ocupantes: Los seres humanos, teniendo en cuenta la actividad que ejecuten y la temperatura ambiente a la que se encuentren, disipan una cierta cantidad de calor. Esta carga se da bajo forma sensible y latente.
- Cargas por Iluminación: La iluminación sustenta cierto consumo de energía, la cual se transformará en energía térmica. Esta incide en la edificación bajo la forma de carga sensible.
- Carga debido a máquinas y motores: La cantidad de calor que disipan depende de la naturaleza de la máquina. Sin embargo, son capaces de aportar tanto carga sensible como latente.

- Cargas por infiltración y ventilación: son ocasionadas por las infiltraciones de aire o por la necesidad de ventilación y renovación del aire interior de los locales a climatizar.
- Condiciones de diseño exterior e interior
- Para realizar el cálculo de cargas térmicas tanto de refrigeración como de climatización es necesario definir cuáles son las condiciones en las cuales se basará dicho cálculo.
- Condiciones de diseño exterior (CDE)
- Se refiere a las condiciones de temperatura y de humedad relativa que posee en el aire ambiente en una región determinada. Estas condiciones varían según la ubicación geográfica de la zona y existen independientemente de la voluntad humana o sea no se pueden cambiar.
- Condiciones de diseño interior (CDI)
- Se refiere a aquellas condiciones finales de almacenamiento del producto que se enfría. Estas condiciones si están normadas para cada producto. Para el diseño de la cámara es muy importante satisfacer dichas condiciones pues determinarán la calidad y durabilidad de los productos.

Cargas de refrigeración.

La carga de refrigeración depende de la magnitud y naturaleza de la ganancia térmica instantánea, así como del tipo de construcción del local, de su contenido, tipo de iluminación y de su nivel de circulación de aire.

Las ganancias instantáneas de calor latente, así como las partes correspondientes de calor sensible que aparecen por convección pasan directamente a ser cargas de refrigeración. Las ganancias debidas a la radiación y transmisión se transforman en cargas de refrigeración por medio de la función de transferencia siguiente:

$$Q_{REF,t} = v_0 \cdot Q_{gan,t} + v_1 \cdot Q_{gan,t-\Delta} + v_2 \cdot Q_{gan,t-2\Delta} - w_1 \cdot Q_{REF,t-\Delta}$$

Siendo:

$Q_{REF,t}$ = Carga de refrigeración para el instante t (W)

$Q_{gan,t}$ = Ganancia de calor en el instante t (W)

Δ = Incremento de tiempo igual a una hora

v_0, v_1 y v_2 = Coeficientes en función de la naturaleza de la ganancia térmica instantánea.

w_1 = térmica instantánea. Coeficiente en función del nivel de circulación del aire en el local.

Metodología de cálculo de instalaciones frigoríficas.

La metodología seguida en el cálculo de la carga térmica puede variar según la bibliografía, así el nombre para definir los diferentes términos de tipo técnico. Todo y las aparentes discrepancias, no existen grandes diferencias en los resultados obtenidos según uno u otro método empleado.

La carga térmica de refrigeración es el calor que se debe extraer de la cámara, con el fin de que mantenga la temperatura de diseño en su interior. Este calor coincide con el calor que entra o que se genera dentro de la cámara frigorífica. Son muchos los factores que intervienen, y es por este motivo que se distribuyen en apartados denominados “partidas”, cada una de estas partidas tiene en cuenta el calor introducido o generado por una causa concreta. El cálculo de las necesidades frigoríficas de una cámara, es una operación rutinaria y que resulta repetitiva, ya que siempre intervienen los mismos datos y partidas.

Para los cálculos de la carga térmica, se utilizan una serie de ecuaciones matemáticas simples, cada una relacionada a las diferentes partidas existentes. También es necesario el uso de tablas, con el fin de simplificar el cálculo y obtener resultados de manera casi directa.

Bases para el cálculo.

En la práctica, es habitual para las cámaras que utilizan temperaturas de refrigeración superiores a 0°C, una estimación de la duración horaria del trabajo del equipo en 24 horas. Teniendo 4 horas diarias para proceder al desescarche del evaporador, tiempo suficiente para realizarlo con éxito.

La extracción total de calor, Q , se puede expresar de la siguiente manera:

$$Q = Q_{\text{productos}} + Q_{\text{otros}}$$

$$Q_{\text{productos}} = Q_{P1} + Q_{P2} + Q_{P3} + Q_{P4} + Q_{P5} + Q_{\text{otros}} = Q_{u1} + Q_{u2} + Q_{u3} + Q_{u4}$$

Donde:

$Q_{\text{productos}}$ – Representa las partidas que están relacionadas con la eliminación del calor sensible, del calor latente de solidificación, de las reacciones químicas, del embalaje y del calor absorbido por la congelación del agua de los alimentos o de los productos que se desean refrigerar.

Q_{otros} – Incluye entre otros los flujos de calor a través de los cerramientos de la cámara por transmisión de paredes, suelos y techos, la infiltración del aire exterior que entra, la ventilación, las cargas térmicas debidas a los ventiladores, bombas, iluminación eléctrica, personas que manipulan los productos, etc.

Es habitual la práctica de aplicar un factor de seguridad aumentando Q_{total} en un 10%, para prever posibles variaciones de carga (calor del desescarche, infiltración de aire del exterior, etc...) A consecuencia, hablaremos de una potencia total necesaria de:

$$Q_{\text{total}} = 1.10 * Q$$

Como el calor generado en las 24 horas del día debe extraerse en un tiempo menor, en las horas de funcionamiento diario, la potencia de la maquinaria NR deberá ser superior a la potencia calculada para extraer en las 24 horas. Su valor será el siguiente:

$$N_R = Q_{total} * \frac{24}{t}$$

Para optimizar las dimensiones y características técnicas del evaporador y de la instalación frigorífica en general es necesario considerar las siguientes partidas de calor.

Partidas correspondientes a Q_{otros} :

- Flujo de calor a través de los cerramientos (Q_{p1}).
- Entrada de aire exterior a la cámara (Q_{p2}).
- Calor de los ventiladores del evaporador y otros motores (Q_{p3}).
- Calor liberado por las personas (Q_{p4}).
- Calor liberado por la iluminación (Q_{p5}).

Partidas correspondientes a $Q_{producto}$:

- Conservación del producto (Q_{u1}).
- Refrigeración del alimento en las diferentes etapas (antes de la congelación, calor latente de congelación y después de la congelación) (Q_{u2}).
- Calor de respiración del alimento (Q_{u3}).
- Refrigeración del embalaje (Q_{u4}).

Flujo de calor a través de los cerramientos.

La entrada de calor por paredes, techo y suelo de la cámara es inevitable, pero puede reducirse eficazmente con la disposición de material aislante en toda la superficie interior del espacio frío.

El cálculo del valor de esta partida debe hacerse para cada superficie por separado, sumándolas después. Consiguiendo de esta manera un resultado más exacto, excepto en el caso de que los valores de U y de A sean idénticos para todos los cerramientos de la cámara.

La tasa total de calor que entra en la cámara debido a los cerramientos, viene dada por la siguiente expresión:

$$Q_{p1} = U * A * \Delta T$$

Donde:

Q_{p1} – Tasa de calor en Btu

U – Coeficiente global de transmisión de calor de pared o techo, en Btu/hr (sqft) (°F)

A – Superficie de cada cerramiento en Pie cuadrado sqft.

Δt – Diferencia de temperatura entre el exterior e interior de la cámara. (Existen valores que pueden hacer modificar este incremento de temperaturas, como son el color y la orientación de los cerramientos exteriores de la cámara, cuando estos están en contacto directo con los rayos del sol)

Tabla 3. Coeficiente global de transmisión de calor para aislantes. Fuentes. Manual Coppeland

Insulación	Pulgadas de insulación								
Factor K aproximado	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Plyuretano expandido, Poliestireno expandido,	1.92	1.28	0.96	0.77	0.64	0.55	0.48	0.43	0.38
Fibra de vidrio, Panel de lana mineral	3.8	2.6	1.9	1.5	1.3	1.1	0.96	0.86	0.76

Continuación de la tabla 3

Los valores usuales de U se pueden obtener por cálculo o bien utilizando tablas como la 3 en las que se relacionan los materiales aislantes más comunes en estas aplicaciones, con los valores de U dependiendo de su espesor.

Entrada de aire exterior a la cámara.

En el recinto refrigerado debe existir ventilación suficiente para sustituir periódicamente el aire viciado por aire fresco. Esta ventilación se realiza principalmente con el uso de las puertas de la cámara, pero de no ser así suficiente, se debe proceder a la utilización de sistemas de ventilación. Para el cálculo de esta partida es necesario hacer una estimación de las condiciones de temperatura y humedad relativa del exterior. Para ello nos apoyaremos en las tablas 4 y 5 las cuales nos brindan coeficientes de intercambio de aire debido a la apertura de puerta así como la tasa de remoción de calor de una cámara refrigerada respectivamente.

$$Q_{P2} = V_{inf} * Q_{removido} * A$$

Donde:

Q_{P2} – Potencia enfriamiento aire de renovación, en Btu

$Q_{removido}$ – Calor removido.

A – Volumen interior de la cámara, en pie cúbico cuft

V_{inf} – Cambios promedio de aire en 24h

Tabla 4. Número de renovaciones de aire por día. Referencia, Manual Coppeland

Volumen cámara (cuft)	Renovaciones por día		Volumen cámara (cuft)	Renovaciones por día	
	Conservación por encima de 32F	Congelación por debajo de 32F		Conservación por encima de 32F	Congelación por debajo de 32F
200	44	33.5	1500	14	11
300	34	26.2	2000	12	9.3
400	29.5	22.5	3000	9.5	7.4
500	26	20	4000	8.2	6.3
600	23	18	5000	7.2	5.6
800	20	15.3	6000	6.5	5
1000	17.5	13.5	8000	5.5	4.3

Tabla 5. Calor removido de un local refrigerado. Referencia, manual Coppeland

HEAT REMOVED IN COOLING AIR TO STORAGE ROOM CONDITIONS
(BTU per cu. ft.)

Storage room temp F	Temperature of Outside Air, F							
	85		90		95		100	
	Relative Humidity, Percent							
	50	60	50	60	50	60	50	60
	65	0.45	0.64	0.68	0.91	0.93	1.20	1.21
60	0.66	0.85	0.89	1.12	1.14	1.41	1.42	1.71
55	0.85	1.04	1.08	1.31	1.33	1.60	1.61	1.91
50	1.03	1.22	1.26	1.49	1.51	1.78	1.79	2.09
45	1.19	1.39	1.43	1.66	1.68	1.94	1.95	2.25
40	1.35	1.55	1.59	1.81	1.83	2.10	2.11	2.41
35	1.50	1.70	1.74	1.96	1.99	2.25	2.26	2.56
30	1.64	1.84	1.88	2.10	2.13	2.39	2.40	2.70

Storage room temp F	Temperature of Outside Air, F							
	40		50		90		100	
	Relative Humidity, Percent							
	70	80	70	80	50	60	50	60
	25	0.39	0.43	0.69	0.75	2.02	2.24	2.54
20	0.52	0.56	0.82	0.89	2.15	2.38	2.68	2.97
15	0.65	0.69	0.95	1.01	2.28	2.50	2.80	3.10
10	0.77	0.82	1.08	1.14	2.40	2.63	2.93	3.22
5	0.89	0.94	1.20	1.26	2.52	2.75	3.05	3.34
0	1.01	1.05	1.31	1.38	2.64	2.86	3.16	3.46
-5	1.13	1.17	1.43	1.49	2.76	2.98	3.28	3.58
-10	1.24	1.29	1.55	1.61	2.88	3.10	3.40	3.70
-15	1.36	1.41	1.67	1.73	2.99	3.22	3.52	3.81
-20	1.48	1.52	1.78	1.85	3.11	3.34	3.64	3.93
-25	1.60	1.64	1.90	1.97	3.23	3.45	3.75	4.05
-30	1.72	1.76	2.03	2.09	3.35	3.58	3.88	4.17

Calor aportado por motores.

Es el calor debido al trabajo de los motores y las máquinas en el espacio frío. El más típico es el calor causado por los motores de los ventiladores del evaporador, pero

también se deben contar, por ejemplo, los motores de carretillas elevadoras y, en suma, cualquier máquina que desarrolle su trabajo dentro de la cámara. La expresión que se aplica es la siguiente:

$$Q_{p3} = 0.2 * \sum (N * f)$$

Donde:

N – Es la potencia de cada motor en kW.

f – Es el tiempo de funcionamiento en horas.

0.2 – Es el factor que considera que un 20% de la potencia del motor se transforma en calor.

Calor aportado por las personas.

El personal que almacena o manipula productos en una cámara frigorífica aporta calor, sobre todo si realiza un trabajo intenso. Para ello nos apoyaremos en la tabla 6, Estimación de calor aportado por ocupante en función de la temperatura interior de la cámara y las horas de permanencia dentro de la misma nos ayudaran a desarrollar el cálculo de esta partida.

El calor emitido por persona aumenta a medida que disminuye la temperatura, como se puede apreciar en la tabla siguiente:

Tabla 6 Calor emitido por las personas. Referencia, Manual Coppeland

Temperatura de la cámara (°F)	Potencia liberada por persona (Btu/hr)
50	720
40	840
30	950
20	1050

10	1200
0	1300
-10	1400

Continuación de la tabla 6

$Q_{pers} = \text{Cant. Personas} * 840 \text{ Btus} * \text{cant. de horas}$

Donde:

Q_{pers} : carga térmica aportada por personas

Cant. Personas: cantidad de personas

Cant. Horas: cantidad de horas de trabajo en el interior de la cámara

Calor liberado por la iluminación.

Las lámparas de incandescencia invierten una parte de la potencia consumida en producir calor. Los fluorescentes, a causa de la potencia reactiva, producen un 30% más, por lo que no suelen utilizarse. Si no se sabe con precisión la potencia eléctrica dedicada a la iluminación, ésta puede determinarse según criterios estandarizados. Lo usual es prever dos niveles de iluminación diferentes para zona de almacenaje y zona de trabajo, en el caso de que hubiese dos zonas. Estos valores son respectivamente, de 12 y 27 W/m². De lo contrario y conociendo la potencia de la iluminación empleada podemos decir que 1w/hr es el equivalente a 3.41 Btu y de esta forma calcular rápidamente esta partida.

$$Q_{P5} = N_{iluminación} * 3.41 \text{ Btu/Hr} * (f)$$

Donde:

$N_{iluminación}$ – Potencia de iluminación en W.

f – Tiempo de funcionamiento de la iluminación en horas.

Conservación de la mercancía. Calor sensible de enfriamiento.

Esta partida contempla el enfriamiento del producto desde la temperatura de entrada en la cámara hasta la temperatura final, por encima del punto de congelación. La expresión a utilizar es la siguiente:

$$Q_{u1} = C \cdot m \cdot (T_e - T_f)$$

C – Calor específico por encima del punto de congelación

m – Masa diaria de mercancía introducida en Kg.

T_e – La temperatura del producto al entrar en la cámara en °C.

T_f – La temperatura del producto al final del enfriamiento en °C, esta temperatura será superior a la de congelación

Para hacer un buen uso de esta fórmula, debemos saber que el calor específico del producto (C) varía según éste se encuentre por encima o por debajo de la temperatura de congelación. Hablaremos de (C+) para temperaturas positivas y de (C-) para temperaturas negativas. Estos valores pueden ser obtenidos mediante tablas, o bien pueden ser calculados en función del porcentaje de agua contenido en el alimento con las siguientes fórmulas.

$$C+ = 0.0355 \cdot a + 0.0837$$

$$C- = 0.0126 \cdot a + 0.0837$$

a – Porcentaje de agua contenido en el producto.

La fórmula para la obtención de C-, no es muy exacta porque los alimentos no son simples mezclas de sólidos, y los líquidos no están totalmente congelados incluso a -30°C.

Refrigeración del producto en las diferentes etapas

Esta partida comprende la etapa de enfriamiento como único objetivo ya que se mantendrá en el rango de temperaturas por encima de 0°C. Para ello emplearemos la ecuación: $Q_{u21} = C \cdot m \cdot (T_e - T_f)$,

2.4.4. Condiciones de diseño de la cámara de 2-8°C de la Empresa

Tabla 7. Condiciones de diseño de la cámara de 2-8°C

Volumen de la cámara	144m ³
Longitud exterior de la cámara	12 m
Ancho exterior de la cámara	4 m
Altura exterior de la cámara	3 m
Producto	Semi-sólidos
Material	Poliuretano
Temperatura de diseño	2-8°C.
Humedad relativa	86.6%
Tiempo de funcionamiento de la cámara	20h

2.4.5. Implementación de la metodología de cálculo de cargas térmicas

Compilada la información acerca de las principales características constructivas y operativas de la cámara se procede a la aplicación de la metodología de cálculo descrita en las fuentes de cargas térmicas.

Consideraciones para el cálculo.

Se considera un régimen de uso de 10 horas, teniendo 2 horas para la realización del descarche.

El cálculo se realiza para la capacidad máxima de la cámara, o sea 4 toneladas de producto.

Desarrollo del cálculo:

Tasa total de calor que entra en la cámara debido a los cerramientos:

$$Q_{p1} = U \cdot A \cdot \Delta T$$

Paredes:

$$\text{[Blue Box]} \times 2$$

$$Q_{p1} = 2(1.28 * 388 \text{sqft} * (86^\circ\text{F} - 35.6^\circ\text{F}))$$

$$Q_{p1} = 50061.31 \text{ BTU}$$

$$\text{[Blue Box]} \times 2$$

$$Q_{p1} = 1.28 * 129.2 \text{sqft} * 50.4^\circ\text{F}$$

$$Q_{p1} = 16670 \text{ BTU}$$

Piso y techo:

$$\text{[Blue Box]} \times 2$$

$$Q_{p1} = 1.28 * 516.6 \text{sqft} * 50.4^\circ\text{F}$$

$$Q_{p1} = 66653.7 \text{ BTU}$$

Entrada de aire exterior a la cámara.

$$Q_{p2} = V_{inf} * Q_{removido} * A$$

$$Q_{p2} = 7.2 * 1.96 * 5085 \text{cuft}$$

$$Q_{p2} = 62240 \text{ BTU}$$

Calor aportado por motores.

$$Q_{p3} = 0.2 * \sum (N * f)$$

$$Q_{p3} = 0.2 * 292 \text{w} * 10 \text{H}$$

$$Q_{p3} = 584 \text{ BTU}$$

Calor aportado por las personas.

$$Q_{p3} = \text{Cant. Personas} * 840 \text{ Btus} * \text{cant. de horas}$$

$$Q_{p3} = 2 * 840 \text{ BTU} * 2\text{h}$$

$$Q_{p3} = 3360 \text{ BTU/h}$$

Calor liberado por la iluminación.

$$2. \quad Q_{p4} = N_{\text{iluminación}} * 3.41 \text{ Btu/Hr} * (f)$$

$$Q_{p4} = 144\text{w} * 3.41 \text{ BTU} * 2\text{h}$$

$$Q_{p4} = 978 \text{ BTU}$$

Conservación de la mercancía. Calor sensible de enfriamiento.

$$Q_{p5} = w * c * (T_e - T_f)$$

$$Q_{p5} = 8818.5 * 0.85 * (42^\circ\text{F} - 28^\circ\text{F})$$

$$Q_{p5} = 104940.2 \text{ BTU}$$

Selección de la capacidad del compresor:

Cargas térmicas en cerramientos----- 133385.01 BTU

Cargas térmicas por infiltración de aire exterior----- 62240.4 BTU

Cargas térmicas por producto----- 104940.2 BTU

Cargas térmicas suplementarias----- 4922 BTU

243.247.272 BTU/8h

30.405.91 BTU/h = 8.9 KW

Balance de componentes:

Condiciones de trabajo seleccionadas para el equipo:

Humedad Relativa, Hr: 85%

Diferencia de temperatura, ΔT : 14°F

Temperatura de evaporación, Te: 23°F

Temperatura de condensación, Tc: 120°F

Temperatura ambiente: 100°F

Equipo seleccionado según Catálogo Infrico⁶: Modelo MSH-QC-52108

Tabla 8 Equipos para temperaturas positivas./R-134a/R-449A/R-404^a. Referencia, Catálogo INFRICO

VERSIÓN AXIAL	COMPRESOR		POTENCIA FRIGORÍFICA/ VOLUMEN CÁMARA, SEGÚN TEMPERATURA DE CÁMARA ^{a)}						POTENCIA ABSORB. NOMINAL (kW)	INTENS. MÁXIMA ABSORB. (A)	CAUDAL EVAP. (m³/h)	CONEXIÓN FRIGORÍFICA LIQ - GAS	CARGA REFRIG. (kg)	PESO (kg)	NIVEL PRESIÓN SONORA dB(A) ^{b)}	PVP (€) AXIAL	
			0°C		5°C		10°C										
	SERIE / MODELO AXIALES	CV	TENSIÓN	W	m³	W	m³	W	m³								
R134a	MSH-QY-30068	3 1/2	400 V-III	3 854	54	4 646	59	5 513	84	2,00	12,0	2100	1/4"-3/4"	< 4,0	74+43	48	4.869
	MSH-QY-40086	4	400 V-III	4 431	63	5 418	68	6 500	100	2,35	14,3	2100	3/8"-7/8"	< 5,0	107+43	49	5.692
	MSH-QY-41108	5	400 V-III	5 324	71	6 500	80	7 775	110	2,77	17,3	2700	3/8"-7/8"	< 5,0	109+56	50	6.323
	MSH-QY-42136	6 1/2	400 V-III	7 235	110	8 773	180	10 474	280	3,85	22,0	4150	3/8"-1 1/8"	< 5,0	112+72	50	7.903
	MSH-QY-53171	8	400 V-III	7 830	135	9 535	185	11 520	300	4,25	24,1	5200	3/8"-1 1/8"	< 5,5	162+89	50	9.164
	MSH-QY-53215	10	400 V-III	9 450	175	11 485	230	13 740	350	5,01	30,5	6 200	3/8"-1 1/8"	< 5,5	166+94	49	10.080
	MSH-QY-54271	13	400 V-III	12 400	240	14 760	320	17 420	400	7,13	40,2	8300	1/2"-1 3/8"	< 5,5	171+118	48	11.800
R449A	MSH-QG-30034	1 1/2	230 V-I *	3 409	39	4 054	62	4 797	99	1,61	16,3	2100	3/8"-5/8"	< 3,5	74+43	39	4.282
	MSH-QG-30038	1 3/4	400 V-III	3 647	46	4 301	70	5 063	110	1,79	7,1	2100	3/8"-5/8"	< 4,0	71+43	40	4.395
	MSH-QG-40048	2	400 V-III	4 752	67	5 559	99	6 554	159	2,42	9,8	2100	3/8"-3/4"	< 4,5	95+43	41	5.139
	MSH-QG-40054	2 1/4	400 V-III	5 203	76	6 060	113	7 106	178	2,61	10,3	2100	3/8"-3/4"	< 5,0	96+43	41	5.480
	MSH-QG-41060	3	400 V-III	6 049	86	7 038	128	8 260	198	3,07	11,3	2700	1/2"-3/4"	< 5,0	97+56	38	5.938
	MSH-QG-41068	3 1/2	400 V-III	6 545	113	7 581	163	8 866	253	3,44	12,3	2700	1/2"-3/4"	< 5,0	98+56	39	7.136
	MSH-QG-52086	4	400 V-III	8 056	125	9 542	185	11 320	315	3,87	15,0	4150	1/2"-7/8"	< 5,0	135+72	49	8.498
	MSH-QG-52108	5	400 V-III	9 386	160	11 011	220	12 991	375	4,90	18,0	4150	1/2"-7/8"	< 7,0	157+72	47	8.858
	MSH-QG-53136	6 1/2	400 V-III	11 894	190	13 856	260	16 173	430	6,67	21,0	6 200	1/2"-1 1/8"	< 9,0	140+94	46	9.583

⁶Catálogo Infrico: Catalogo de Cámaras y equipos frigoríficos 2019.

Conclusiones parciales

- Se desarrollaron los cálculos termodinámicos teóricos de las Entalpías del sistema de refrigeración original y luego de aplicada la reconversión lo cual nos permite realizar una evaluación del sistema en ambos escenarios de trabajo.
- Los cálculos de las cargas térmicas realizados para la selección de un nuevo sistema de refrigeración permiten garantizar las temperaturas requeridas a los productos y además mejor eficiencia energética.

Capítulo III: Resultados y propuestas de las variantes

3.1 Introducción

En el presente capítulo se describe mediante un caso de estudio, tomando como base la cámara de mantenimiento de medicamentos termolábiles de la Empresa Comercializadora y Distribuidora de Medicamentos EMCOMED, la estructuración específica muestra los resultados de la evaluación termodinámica y cargas térmicas. Para realizar el análisis económico de ambas propuestas se tomaron como referencias los precios de los productos en el mercado internacional para la reconversión del sistema R-22 al R-407C, con el auxilio del Trade Map³, empleando el código SACLAR⁴ (Sistema Armonizado) para identificar potenciales proveedores, y los catálogos Gas Servei y Pecomark determinando lo siguiente:

3.2 Análisis Económico de las Propuestas.

Tabla 9. Análisis económico. Referencia, diseño propio

Reconversión	Euros/USD	CUP
Costo de un litro de Aceite POE	27	675
Costo de 20Kg de R-404A.	4000	100.000
Costo de 20Kg de R-407C	1354	33.850
Costo de 20Kg de R-22	146	3.650
Carga de refrigerante	-----	26341.85
Cambio de aceite del compresor	-----	28573.38
Costo total	-----	193.090.23
Compra de un nuevo sistema		
Costo del Sistema	8993.00	224.825
Costo de mano de obra	-----	191.681.59
Costo total	-----	416.506.59

³ Trade Map: Trade Map proporciona - en forma de tablas, gráficos y mapas - indicadores de desempeño exportador, de demanda internacional, de mercados alternativos y de mercados competitivos, así como un directorio de empresas importadoras y exportadoras.

⁴Sistema Armonizado (SA u HS en inglés): Fue desarrollado por la Organización Mundial de Aduanas (OMA) <http://www.wcoomd.org> para contar con una herramienta unificada en la recolección de aranceles de aduanas y estadísticas de comercio.

3.3 Evaluación de los beneficios para la empresa en el ahorro energético.

Tabla 10. Consumo energético; costo KW x Cup. Referencia, diseño propio

Sistemas	Potencia (kW)	Tiempo de funcionamiento (h)	Consumo diario (kW)	Consumo mensual (kW)	Consumo anual (kW)	Costo promedio anual (CUP)
Original	7	8	56	1680	20160	81.178.272
Reconvertido	-	-	-	-	-	-
Nuevo sistema	-	-	-	-	-	-

3.4 Análisis de los resultados de las propuestas planteadas.

Reconversión de sistemas.

Aspectos positivos de la reconversión:

- Los costos de reconversión son menores en comparación a la adquisición de un nuevo sistema.
- Continuación de la explotación del equipo existente.
- El refrigerante empleado posee un potencial de calentamiento global inferior al refrigerante existente.
- El refrigerante sustituto es aún comercializado en el mercado internacional a diferencia del R-22 el cual está siendo eliminado gradualmente.
- Mejora energética con una eficiencia hasta en un 5% respecto al sistema original.
- El efecto refrigerante del R-407C es superior al R-22 en un 3% en el caso de estudio que nos ocupa.

Aspectos negativos de la reconversión:

- Leve disminución del rendimiento del compresor luego de aplicada la reconversión basado en el análisis de los cálculos realizados.
- Se mantiene el mismo sistema, el cual lleva más de 10 años de explotación y cuya fecha de producción data del año 2004.
- Cuba cuenta con pocos proveedores internacionales para adquirir los refrigerantes debido al bloqueo impuesto por el gobierno norteamericano.

Selección de un nuevo sistema:**Aspectos positivos:**

- Al instalar un equipo moderno obtenemos una alta confiabilidad así como la máxima eficiencia energética, monitoreo y control de la unidad.
- Se reducen los costos de mantenimiento.
- La eficiencia en cuanto a potencia de enfriamiento es similar a la obtenida por el sistema original si contamos con un sistema de R-404A, por citar un ejemplo.
- Permite contar con un mayor tiempo de explotación.
- Las partes de reemplazo luego de roturas cuentan con mayores ofertas en el mercado internacional.
- Emplean refrigerantes que se encuentran ampliamente en el mercado además los cuales poseen un menor potencial de calentamiento global y de agotamiento de la capa de ozono.

Aspectos negativos:

- Requiere de aprobación de inversión para su adquisición en el mercado internacional.

- Cuba cuenta con pocos proveedores con los cuales puede establecer comercio para adquirir dicha tecnología debido al bloqueo impuesto por el gobierno norteamericano.

Conclusiones parciales.

Para el proceso de reconversión se tuvo en cuenta los precios de los productos en el mercado internacional, añadidos estos a los análisis de rendimiento del sistema resultando costo y poco fiable ya que nuestro país no cuenta con un proveedor estable en el mercado internacional para la compra del R-407C y los precios en el mercado internacional han experimentado un alza considerable, además se realizaría la reconversión un equipo que ha excedido el tiempo de obsolescencia programada.

La selección del nuevo equipamiento se realizó según los cálculos empleados para determinar las cargas térmicas de acuerdo a las características propias de la cámara, adicionando un 10% según lo planteado en la literatura. Se seleccionó un sistema predefinido por la comercializadora PECOMARK⁵ basado en la capacidad en m³ del local, el cual se acerca a la potencia requerida según los resultados obtenidos en el estudio, siendo un salto tecnológico respecto a la existente en cuanto a control de parámetros, eficiencia energética, frigorífica, con amplia gama de ofertas en componentes auxiliares y de recambio, etc.

⁵PECOMARK: Empresa líder en el sector de la refrigeración comercial e industrial.

Conclusiones generales.

1. Los cálculos termodinámicos teóricos de las Entalpías del sistema de refrigeración original y luego de aplicada la reconversión permitió la evaluación del sistema en ambos escenarios de trabajo.
2. Los cálculos de las cargas térmicas realizados para la selección de un nuevo sistema de refrigeración, garantizan las temperaturas requeridas a los productos y mejoras en eficiencia energética.
3. El proceso de reconversión sistema resultando costo y poco fiable ya que nuestro país no cuenta con un proveedor estable en el mercado internacional para la compra del R-407C y los precios en el mercado internacional han experimentado un alza considerable, además se realizaría la reconversión a un equipo que ha excedido el tiempo de obsolescencia programada.
4. La selección del nuevo equipamiento, representaría un salto tecnológico respecto a la existente en cuanto a control de parámetros, eficiencia energética, frigorífica, con amplia gama de ofertas en componentes auxiliares y de recambio, etc.

Recomendaciones.

PRIMERA: Que se utilice esta herramienta para la toma de decisiones de los directivos a la hora de mantener en funcionamiento las cámaras frigoríficas de conservación de medicamentos.

SEGUNDO: Aplicar esta investigación a las demás instalaciones que lo requieran vinculadas a la Empresa Comercializadora y Distribuidora de Medicamentos, EMCOMED.

TERCERO: Realizar análisis de eficiencia y de consumo energético, aplicado a la cámara frigorífica, luego de realizado el proceso de reconversión.

CUARTO: Realizar análisis de eficiencia y de consumo energético, aplicado a la cámara frigorífica, a un nuevo sistema de refrigeración acoplado de ser el caso.

Bibliografía

ASHRAE. (2014). *Refrigeration Handbook*.

Emerson Climate Technologies. (1968). *Refrigeration Manual* (3).

Gevara Pierre, R. L. (2020). *Estudio de reconversión del refrigerante R-22 en el sistema de clima centralizado del Laboratorio Farmacéutico Oriente*.

Iglesias Ruiz, M. V. (2004). *Refrigeración*. Pueblo y Educación.

INFRICO. *Catálogo de cámaras y equipos frigoríficos*. (2019). infrico.com. <https://www.infrico.com>

K. Wang, S. (2001). *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration* (2da ed.).

Kutz, M. (2006). *Mechanical Engineers' Handbook*. Hoboken John Wiley & Sons, Inc.

Manchego Urquizo, C. F. (2020). *Diseño de una cámara frigorífica para la conservación de medicinas en comunidades alejadas de la región Selva Perú*. Universidad Continental.

Ortega Morales, C. (2013). *Refrigeración y climatización. Historia de la refrigeración*. SILO.TIPS. <https://aireacondicionadojr.blogspot.com>

Pecomark. (2020). *La experiencia de estar siempre en la cima*. pecomark.com. <https://www.pecomark.com>

Plasencia, D. M. (2009). *Temas Avanzadas en Refrigeración y Climatización*. Cienfuegos: Universo Sur. Félix Varela.

Quimobásicos. (2017). *Genetron R-407C el mejor sustituto del R-22 en aire acondicionado residencial*. Calor y Frio. <https://blogquimobasicos.com>

Raspin, P. J. (2004). *Instalaciones Frigoríficas: Vol. I, II*. Macombo.

Wikipedia. (1987). *Protocolo de Montreal. Protocolo Ecológico*. <https://es.m.wikipedia.org/wiki>

Wikipedia. (2015). *Acuerdo de París tratado internacional de 2015 sobre cambio climático*.
<https://es.m.wikipedia.org/wiki>

Yañes Chamizo, B., Martínez Pi, Y., Gonzáles Cabeza, Y., Figueroa Pérez, R., Pérez Gutiérrez, J., & Echevarría Milá, J. A. (2017). *Buenas Prácticas Farmacéuticas*.

Zaldívar et al., R. (2015). *Manual de Buenas Practicas de Refrigeración*. Ama.