

UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN
“OSCAR LUCERO MOYA”
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA



MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA
EN LOS FRIGORÍFICOS DE ENFRIGO

TESIS EN OPCIÓN DEL GRADO ACADÉMICO DE MÁSTER EN
EFICIENCIA ENERGÉTICA

Autor: Lic. Hugo Ariel Acosta Cuenca

Tutor: Dr. C. Ing. Roberto M. Torres Rodríguez

Holguín

2011

AGRADECIMIENTOS

Al DrC Roberto Torres Rodríguez por su sabia dirección y compromiso incondicional, para que esta investigación viera la luz

Al claustro de la Maestría, por su competencia profesional

A mi esposa, porque sin su ayuda, no hubiese sido posible esta obra

A mis dos hijos, a mi familia, por su apoyo incondicional

Al colectivo de trabajadores de la Subdirección Técnica Enfrigo, en especial al compañero Francisco González (Pancho)

DEDICATORIA

A la Revolución, porque esta es la hora de levantar las banderas de la sociedad que con tanto sacrificio hemos construido y de la cual soy su resultado

A mis dos hijos y a mi esposa por el tiempo que no les pude dar y por su infinita confianza en mí como ser humano

A mis padres, por su ejemplo

RESUMEN

La eficiencia energética en el ámbito empresarial, implica lograr un nivel de producción o servicio con los requisitos de calidad establecidos por el cliente logrando los menores consumos y costos energéticos posibles, la menor contaminación ambiental a partir de buenas prácticas de consumo, de operaciones y mantenimiento, y la introducción de nuevas tecnologías de alta eficiencia. La Empresa Nacional de Frigoríficos (ENFRIGO), constituye uno de los mayores consumidores de energía del país, siendo su objeto social de primera prioridad por su impacto en la alimentación a la población. Este trabajo de investigación aborda el estudio realizado en la empresa ENFRIGO con el objetivo de mejorar su eficiencia electroenergética, tomando como referencia fundamental el diagnóstico realizado en la misma, donde se demuestra la necesidad de mejorar o sustituir la tecnología utilizada en las funciones fundamentales de la empresa para la conservación y refrigeración de productos en su mayoría de la canasta básica de alimentos para la población. Así mismo en él se exponen los aspectos teóricos esenciales relacionados con la eficiencia energética en empresas frigoríficas y en particular en el objeto de investigación, así como las mejoras propuestas para elevarla. Además se exponen los resultados fundamentales alcanzados en la aplicación parcial del proyecto de mejoras diseñado a partir de los resultados de esta investigación, tales como la disminución del índice de consumo en $0,065 \text{ mWh/mm}^3\text{Eq}$ y el consumo 803.08 mWh .

ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
1.1 La crisis energética y su impacto.....	6
1.1.1. Algunos aspectos relacionados con la crisis energética a nivel mundial.....	6
1.1.2. El panorama energético en Cuba.....	11
1.1.3. Elementos esenciales de la eficiencia energética.....	13
1.1.4. Tecnologías para la gestión de la eficiencia energética.....	15
1.2. Funcionamiento de los frigoríficos y ahorro de energía.....	20
1.2.1. Características técnicas de los ciclos estándar de las instalaciones frigoríficas y aire acondicionado.....	20
1.2.2. Influencia de los cambios en los parámetros del ciclo en el funcionamiento.....	26
1.2.3. El compresor como uno de los componentes principales del sistema de frío.....	30
1.3. Los frigoríficos en Cuba. La empresa Enfrigo.....	34
1.4. Conclusiones parciales.....	37
CAPÍTULO 2. DIAGNÓSTICO Y MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EMPRESA ENFRIGO.....	38
2.1. Descripción del procedimiento de mejora adaptado para la empresa Enfrigo.....	38
2.2. Aplicación del procedimiento de mejora en la empresa Enfrigo.....	49
2.3. Conclusiones parciales.....	66

CONCLUSIONES..... 67

RECOMENDACIONES..... 68

BIBLIOGRAFÍA..... 69

ANEXOS..... 74

INTRODUCCIÓN

La reducción de la demanda del consumo de energía, de los costos asociados con ellos y con las inversiones capitales en los equipos que consumen electricidad en los servicios, resulta imprescindible en la situación actual de la economía. (Restrepo y otros, 2007).

Es preciso tener presente que la eficiencia energética en su concepción más amplia pretende mantener el servicio que se presta reduciendo al mismo tiempo el consumo de energía. Es decir, se trata de reducir las pérdidas que se producen en toda transformación o proceso incorporando mejores hábitos de uso y mejores tecnologías; incluso es ir más allá de solo mantener los servicios que se obtienen de la energía, es lograr mayores beneficios. (Orosco, 2004).

En Cuba, la Revolución Energética posibilitó un mayor control de los consumos energéticos y creó la necesidad de la investigación en función de incrementar los ahorros, en resumen de una mejor proyección en el uso racional de la energía. (Borroto Nordelo y Monteagudo Yanes, 2006).

Los frigoríficos, por sus características, son altos consumidores de energía eléctrica para realizar su trabajo de extracción del calor a los productos refrigerados por tanto, son objetos de investigación en aras de reducir estos consumos. El consumo está definido por la carga térmica, lo que significa que si se implementan estrategias para reducir esta, se reduce la potencia. Igualmente si se mejora el efecto frigorífico, se reduce la potencia, esto se logra sobrecalentado o subenfriando el sistema. Igualmente cambiar de compresor implica mejorar la eficiencia isotrópica o de otra manera, se reducen los kilowatts por toneladas refrigeradas (kW/TR). (Restrepo y otros, 2007)

La Empresa Nacional de Frigoríficos (ENFRIGO), concentra más del 60% de las capacidades de refrigeración del país. A partir del año 2000, sobre la base de un deterioro considerable de su infraestructura y las condiciones inseguras en la explotación, se comenzó un estudio a profundidad sobre el consumo de energía de los frigoríficos con que cuenta la empresa. Esta investigación se desarrolló en este contexto y su base la constituye el diagnóstico como punto de partida primordial para la proyección de soluciones en su mejoramiento.

Por ello se hace necesario referir algunas categorías conceptuales como la eficiencia energética en el ámbito empresarial que implica lograr un nivel de producción o servicio con requisitos de calidad establecidos por el cliente con los menores consumo y costo energético posible y la menor contaminación ambiental, la cual puede alcanzarse con una mejor gestión energética y buenas prácticas de consumo, de operaciones y mantenimiento, mediante nuevas tecnologías y equipos de alta eficiencia. (Borroto y Monteagudo, 2006; Poveda, 2007; Espinosa Villarroel, 2008).

El uso de la energía en sus diferentes vertientes ocupa al hombre tratando de buscar soluciones y aplicar medidas de ahorro para contribuir al desarrollo de la economía y los servicios.

En muchos países existen programas de ahorro de energía, incluyendo los más desarrollados que consumen la mayor cantidad. Cuba, se ha pronunciado con igual sentido con el Programa de Ahorro de Electricidad conocido con las siglas PAEC, el cual tiene los objetivos siguientes:

- Desarrollar hábitos y costumbres en la sociedad con relación al uso racional de la energía y la protección del medio ambiente.
- Reducir la demanda máxima y la tasa de crecimiento anual al consumo.
- Formar una política de precio que garantice una buena eficiencia energética en todos los nuevos equipos eléctricos que se instalen en el país.

En la última etapa, una de las principales estrategias de la Batalla de Idea se concreta en la Revolución Energética. “La Revolución Energética no puede circunscribirse a acciones aisladas, requiere de la comprensión y participación de las masas...”, reafirmaron los participantes en la comisión de ahorro de energía y eficiencia energética. (Granma 25 de Enero 2007, página 2).

En la sesión del día 25 de la comisión especial de energía y eficiencia energética de la XV edición del Fórum de Ciencia y Técnica Nacional, presidida por el miembro de Buró Político Ramón Machado Ventura y Roberto López, integrante del Secretariado del Comité Central, se hace referencia a los factores subjetivos que atentan contra el desarrollo energético y se señala que aún prevalece el desconocimiento de los índices de consumo, de eficiencia y la existencia de reservas para el ahorro, aspectos estos que en la mayoría de los casos “inciden y deciden” en indicadores económicos de las entidades de base del país. (Granma, 25 de enero del 2007, pág. 2). Esta afirmación demuestra la existencia de brechas para continuar el ahorro de energía en las empresas cubanas.

En este sentido los primeros resultados de la aplicación de una estrategia ahorradora, acentuaron la lógica de un proceso encaminado a la identificación y análisis de los puestos claves como herramienta para lograr mejores resultados en la gestión de la energía en las empresas cubanas.

Generalizar cada resultado es una premisa insoslayable para que la ciencia y la innovación tecnológica sean verdaderos motores del desarrollo y contribuyan a elevar la eficiencia, la calidad y la competitividad en las producciones y servicios. (González García y otros, 2006).

ENFRIGO cuenta con 31 unidades distribuidas en todo el país, los cuales desde 1959 hasta la actualidad han sufrido diversas modificaciones y reinstalaciones por el significado de su objeto social y su impacto en la canasta básica. Por sus características, constituye un alto consumidor energético esta empresa nacional, aunque ha implementado planes de acciones para elevar sus índices de eficiencia, éstos aún son insuficientes para lograr los resultados esperados en la gestión energética y no rebasan los marcos empíricos en su organización y ejecución. Un estudio de la proyección del consumo de energía eléctrica demostró resultados positivos pero aún insuficientes por lo cual no se concreta la disminución del consumo en correspondencia con las medidas implementadas. Las acciones de rehabilitación y modernización deben permitir un ahorro del 39% de la energía eléctrica, es decir dejar de consumir 19.5 millones de kWh, aún por lograr.¹

Las pérdidas energéticas en las instalaciones de refrigeración de la ENFRIGO, actualmente mantienen las principales pérdidas energéticas que se localizaron hace cuatro años atrás:

- Pérdidas por aislamientos de paredes y techos en mal estado.
- Pérdidas por aislamiento deteriorado de tuberías.
- Pérdidas por baja eficiencia en los compresores de amoníaco.
- Pérdidas por baja eficiencia de las cortinas de aire.
- Pérdidas por incrustaciones en los condensadores.
- Pérdidas de temperatura de refrigeración por las puertas en mal estado.

¹ Estudio realizado por especialistas de Enfrigo. Informe al Ministro del MINCIN, Julio 2007.

De este análisis se concluye que existe una contradicción entre los medios y recursos que emplea el país en la remodelación de la empresa las unidades para lograr una eficiencia energética y la que se está obteniendo en estas, de ahí que se delimite la necesidad de alcanzar niveles inferiores de consumo de energía con relación a los de la actualidad. Para resolverlo se consideró necesario realizar una profunda investigación sobre el funcionamiento y la gestión energética de los frigoríficos, precisándose como **problema de la investigación** el siguiente: ¿Cómo incrementar la eficiencia energética de los frigoríficos de ENFRIGO en correspondencia con la política de ahorro del país?

El **objeto de estudio** definido como el proceso productivo de los frigoríficos de ENFRIGO y como **campo de acción** la eficiencia energética.

Definiéndose como **Objetivo** de la investigación la realización de un estudio que permita revelar los problemas fundamentales que afectan la eficiencia energética y a su vez proyectar soluciones que la mejoren disminuyendo los consumos energéticos de los frigoríficos de la empresa nacional (ENFRIGO).

El estudio de los referentes teóricos ha permitido plantearnos la siguiente **Hipótesis**: si se diagnostican e identifican adecuadamente las insuficiencias que afectan la eficiencia energética en los frigoríficos de la empresa nacional (ENFRIGO), permitirá proyectar y aplicar soluciones que la incrementen y contribuyan a la disminución de los consumos energéticos.

Tareas

1. Análisis de las fuentes bibliográficas para la construcción del marco teórico referencial en que se sustenta la propuesta.
2. Realizar el diagnóstico energético profundo en la empresa a partir de indicadores establecidos por el MINBAS.
3. Proyectar las soluciones para la mejora de la eficiencia energética ENFRIGO.
4. Aplicar y evaluar las soluciones para la mejora de la eficiencia energética en ENFRIGO.
5. Elaborar el informe final de la investigación.

Métodos empleados

El método **histórico-lógico**: facilitó establecer las características esenciales del desarrollo y del estado de la temática en los frigoríficos.

El **análisis y la síntesis**: permitió llegar a conclusiones con respecto al funcionamiento y gestión energética de los frigoríficos.

La observación, a través de la cual se pudo analizar los detalles del objeto y campo de estudio.

Consulta a especialistas, para acceder a información necesaria para el desarrollo de la investigación.

Revisión de documentos para identificar los problemas del funcionamiento y la gestión energética de los frigoríficos.

Media, análisis porcentual, tablas, como métodos de la estadística descriptiva.

Contenido del trabajo

La tesis cuenta con una introducción donde se resumen los aspectos esenciales que fundamentan y caracterizan la situación problemática. Un capítulo I, dedicado al estudio de las fuentes bibliográficas y la construcción del marco teórico referencial donde se exponen las ideas generales referentes al funcionamiento y gestión energética de los frigoríficos en el marco del contexto que vive nuestro país. En el capítulo II, se exponen los elementos del diagnóstico, la proyección de mejoras, su aplicación y se describen los resultados alcanzados, con el objetivo de demostrar su factibilidad; un cuerpo de conclusiones y recomendaciones derivadas de la investigación; la bibliografía consultada y finalmente, un grupo de anexos de necesaria referencia, como complemento de los resultados expuestos.

Aportes

En el orden metodológico se adaptó al contexto ENFRIGO, un procedimiento de mejora de la eficiencia electroenergética.

Propuesta y validación del índice de consumo de energía eléctrica para los frigoríficos. (mm^3Eq).

En el orden práctico se logró mejorar la eficiencia electroenergética de los establecimientos de ENFRIGO, según se demostró en el desarrollo de la investigación.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL DE LA INVESTIGACIÓN

En el capítulo, se integra la literatura especializada y otras fuentes consultadas, de forma tal que permitan valorar las concepciones del estado actual referentes de la eficiencia energética como objeto de estudio, lo que posibilita sentar las bases para la investigación. El eje principal contempla diferentes tópicos que abarcan, conceptos y tendencias de los establecimientos frigoríficos y algunas particularidades de su gestión energética como empresa. Finalmente, se hace alusión al estado actual en cuanto al estado de la eficiencia electroenergética en la empresa.

1.1 . LA CRISIS ENERGÉTICA Y SU IMPACTO.

En los últimos años el uso de la energía se ha convertido en tema de debate y preocupación de la mayoría de los países, unos por consumir demasiado y el encarecimiento de los portadores energéticos los impacta económicamente, otros por tener pocas posibilidades de usarlas y los más nobles por el impacto del consumo energético en el medioambiente que está provocando cambios que urgen de medidas para mitigar los impactos negativos. Estos aspectos son hoy abordados en todos los foros internacionales y se comienza a trabajar la ya creciente crisis energética mundial. En este epígrafe se hace referencia a algunos aspectos que se relacionan.

1.1.1. Algunos aspectos relacionados con la crisis energética a nivel mundial.

La energía es un bien escaso y caro que causa un profundo impacto, tanto a nivel económico como medioambiental. Su utilización es un factor clave en la gestión de todas las instituciones ya que es necesaria tanto para los procesos como para las actividades auxiliares y constituye una parte importante de los costos totales de cualquier entidad. Una buena gestión energética permite disminuir el consumo de energía de manera estructurada y sistemática, disminuye el impacto de su organización sobre el medio ambiente y, a menudo, aumenta el confort y la productividad en el caso del sector industrial.

El sector energético mundial tiene un gran reto; suplir de suficiente energía a precios razonables, de manera que no afecte el crecimiento económico global, tarea nada fácil si se cumple la predicción de que la demanda mundial por combustibles aumente en más de un 60% de aquí al año 2030. Así lo concluye el estudio Globalization and Energy Supply:

Strategic Risk in the 21st Century (Globalización y Suministro de Energía: Riesgo Estratégico en el siglo XXI), elaborado por Deloitte, donde se analiza el complicado panorama energético mundial. Según el informe, los mayores responsables del aumento en la demanda serán los países en desarrollo, como Brasil, India, China y el Medio Oriente, que aumentarán cuatro veces sus necesidades de aquí al año 2030. De ser así, estos serán los responsables del 40% de los requerimientos energéticos mundiales, con lo que casi equipararán la demanda proveniente de los que antes se consideraban los mayores consumidores, como Europa Occidental, Norteamérica, Japón, Corea, Australia y Nueva Zelanda. (Lehman y Valdivia, 2005).

Las necesidades del hombre de procesar u obtener beneficios de la utilización de los portadores energéticos en cada período de desarrollo están condicionadas fundamentalmente a su utilización en la obtención de frío o calor (ya sea para clima o procesos industriales), las comunicaciones, los sistemas de iluminación (aunque últimamente se ha fomentado el uso de la luz natural en los diseños de los mismos) y la obtención de la energía mecánica necesaria para la ejecución de los procesos en la industria, para esto se ve obligado a recurrir al uso de las diferentes fuentes de energía primarias fósiles en el caso del carbón o petróleo, gas natural, y con la ayuda del desarrollo tecnológico la utilización de la energía nuclear (actualmente en polémica) y la obtención de los combustibles alternativos como los Biocombustibles, por lo que a continuación se tiene en cuenta la proyección de estos portadores a escala mundial.

Los precios del petróleo se han divorciado de los fundamentos de la oferta y la demanda, al menos en la perspectiva a corto plazo. Seguramente, ante el crecimiento de la demanda anual de petróleo, que promedió cerca de 1.5% durante los pasados tres años, y el pronóstico de que este año apenas crecerá por encima de ese nivel, la duplicación de precios de referencia en términos de dólares del año pasado no puede atribuirse a “un incremento de la demanda”. (Parellada Gamio, 2008 y 2009).

El actual orden económico-político internacional, ha llevado al mundo a un consumo de energía que de seguir con este ritmo pudiera provocar en un tiempo relativamente corto, el agotamiento de las reservas de combustibles fósiles que han sido acumuladas en el planeta

durante millones de años. La energía eléctrica es el principal consumidor de estos combustibles, por lo que su ahorro constituye una prioridad de primer orden. (Santamaría, 2007).

La creciente preocupación mundial acerca del futuro del planeta ha establecido un importante punto de partida respecto al cuestionamiento de los patrones actuales de producción y consumo de energía. Existe hoy día la certeza de la urgente necesidad de garantizar la seguridad energética, controlar la contaminación provocada por la quema de combustibles y, obviamente, presentar batalla al creciente desafío que supone el cambio climático que requiere la reducción urgente de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). (Ibídem)

Hoy se depende en un 80% de los combustibles fósiles para resolver la inmensa mayoría de las necesidades lo que permite gozar en las zonas ricas de un alto nivel de vida, pero consecuencias cada vez más apreciables desde los problemas de suministro, son causa de buena parte de los conflictos del último medio siglo (Irak, Irán, Kuwait), de la amenaza del cambio climático o la realidad cotidiana de la contaminación atmosférica. Hay problemas de abastecimiento y recursos, pero sobre todo el límite de la capacidad de la atmósfera para absorber el dióxido de carbono que se emite en la combustión del carbón, el petróleo y el gas natural. El límite real no son los recursos, sino los sumideros. A lo largo de este siglo habrá que realizar la transición energética ordenada y gradual hacia un modelo energético descarbonizado y cada vez más eficiente, sin olvidar el importante problema de proporcionar un nivel de vida digno al 80% de la población mundial que vive en la pobreza. (Ambris, 2002; Alonso, 2007).

Algunos países ponen sus esperanzas en la energía nuclear. Pero ésta, que sólo produce electricidad y apenas representa el 6% del consumo mundial (el 2% con una metodología que tenga en cuenta sólo la electricidad producida y no el calor de la fisión), plantea problemas no menos graves, como los residuos radiactivos, la proliferación nuclear (véase Irán, India, Pakistán o Corea del Norte), la seguridad o los costes económicos reales de todo el ciclo. (Ibídem)

La solución pasa por el desarrollo de las energías renovables, que ya aportan el 14% del consumo mundial, y que a medio y largo plazo podrán cubrir todas las necesidades energéticas, sin agravar el cambio climático, pues en todos los lugares hay suficiente sol o

viento, y el hidrógeno será la principal forma de almacenamiento y el vector energético. Y no menos importante la eficiencia energética como fuente de energía.

Junto al calentamiento global, existen también otros retos que se han vuelto urgentes. La demanda mundial de energía está creciendo a un ritmo asombroso. La excesiva dependencia de las importaciones energéticas de unos pocos países, generando inestabilidad e inseguridad en el suministro y los precios del petróleo y del gas en constante aumento, han colocado la seguridad energética como tema de preocupación en las agendas políticas de los gobiernos de todo el mundo. El cambio climático ya está afectando nuestras vidas y se prevé que destruirá el medio de vida de muchas personas en los países en vías de desarrollo, numerosos ecosistemas y especies en las próximas décadas. Por esta razón se deben reducir de manera drástica las emisiones de GEI, una medida importante tanto desde el punto de vista medioambiental como social y económico a la cual se contribuye elevando la eficiencia energética en la producción de frío a la vez que se optimiza el uso de refrigerantes. (Armas Valdés, 2004; Jessik, 2008)

Entre los científicos existe el consenso de que un cambio fundamental en los patrones en producción y consumo de energía debe comenzar cuanto antes. Se necesita una transformación completa de la forma de generar, distribuir y consumir la energía. Sólo una revolución energética permitirá limitar el calentamiento global a menos de 2° Celsius, una revolución que genere una reducción de las emisiones globales de GEI del 50% para el 2050 en comparación con los niveles de 1990.

Este gran cambio debe efectuarse contemplando el uso de las energías renovables existentes y la adopción de nuevas medidas de eficiencia energética. Se cuenta relativamente con muy poco tiempo para poder cambiar el sistema energético y alcanzar estos objetivos. La eficiencia energética para el consumo, se establece como la acción más efectiva en el corto y mediano plazo para la optimización en el uso de la energía. Al mismo tiempo es el camino más eficaz para reducir las emisiones de CO₂ (dióxido de carbono) a la atmósfera, y por tanto limitar el calentamiento global del planeta. (Alonso, 2005).

El análisis del caso de los países europeos, evidencia que la eficiencia energética debe ser catalogada como el recurso más importante del que se dispone para asegurar el abastecimiento energético de un país, debido a los importantes beneficios obtenidos por la reducción sostenida del 0,9% anual de la intensidad energética desde 1990.(Ibidem)

Según Armis (2002), en América Latina y el Caribe, la reducción de la intensidad energética desde 1990 fue solo del 0,2% anual. Lo anterior ocurre, por un lado porque son pocos los países que mantienen programas de eficiencia energética de largo plazo, y por otro, por la baja incorporación de tecnologías eficientes por modernización de electrodomésticos y vehículos.

Así mismo, de acuerdo a estimaciones conservadoras realizadas por la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), la región en el período 2003-2018 podría acumular un ahorro de 156 mil millones de dólares en combustible, si se emprendieran programas nacionales sólidos y a largo plazo de eficiencia energética.

Las inversiones requeridas para los programas de eficiencia son muy rentables, como por ejemplo en México, donde la inversión que realiza el estado en el presupuesto de la institución responsable de la eficiencia fue de 5,5 millones de dólares anuales para lograr ahorros por 398 millones de dólares en el año 2005.

Concluye en su reflexión Armis (2002), que no existe una conciencia generalizada entre los actores del sector sobre la importancia que tiene la eficiencia energética. Las autoridades y demás autores del sector creen que la ampliación de la oferta es la única solución, sin analizar que las opciones de demanda son igual de válidas. Este aspecto no se comporta de igual manera en el caso de Cuba, donde sí se han definido estrategias específicas para enfrentar la crisis lo cual se analizará más adelante en este informe de investigación.

En general existe la posibilidad de mejorar la eficiencia energética a partir de cambiar los patrones de uso de los diferentes aparatos consumidores de energía por una parte y por otra de el uso de mejores tecnologías y su mantenimiento para elevar los niveles de ésta, por esta razón son importante los estudios relacionados con la temática para lograr como primer paso una serie de acciones sencillas que permitan aumentar la eficiencia y en un corto plazo, ahorrar energía, mitigando así la emisión de GEI. Este conjunto de acciones generan además un ahorro considerable para los consumidores, a partir de la disminución de la demanda de energía.

En muchos de los casos, las alternativas que se proponen para lograr mayores niveles de eficiencia energética, generan nuevas inversiones las cuales siempre conllevan a su amortización, dado este en la recuperación del dinero invertido por los ahorros energéticos

que éstas producen además de otros beneficios relacionados con la seguridad, disminución de impactos ambientales, etc.

1.1.2. El Panorama energético en Cuba.

Cuba no está exenta de las afectaciones que los precios inestables del petróleo crean en la economía, por lo que se han tomados diferentes alternativas a raíz de la Revolución Energética como es, la descentralización de la generación eléctrica, pasando a la generación distribuida a través de la instalación de los grupos electrógenos y además la utilización de las energías renovables a través del uso de paneles solares e instalaciones de parques eólicos.

También se puede decir que la situación mundial existente no es favorable al uso indiscriminado de los portadores energéticos y por tanto se hace necesario pasar a nuevas prácticas que conlleven a un uso racional de los mismos, logrando obtener impactos favorables en los aspectos económicos, ambientales y sociales. En el año 2006 se logró un avance significativo con resultados a partir de la Revolución Energética que permitieron disminuir el consumo en dos millones de kW/h, equivalentes a 600 toneladas de combustible diariamente que reportan un ahorro de 60 000 000 de dólares al año.

Es significativo que la reducción en el uso de combustibles antes señalada, está dada también por el incremento de la eficiencia en la generación, el aumento de la producción de electricidad con gas acompañante y la reducción de las pérdidas totales en la red electroenergética nacional. A ello se suma el montaje de grupos electrógenos emergentes y los sincronizados al Sistema Electroenergético Nacional con los cuales Cuba cuenta hoy con una potencia de más de 1 100 000 kW adicionales a las termoeléctricas existentes. Con los más de tres mil equipos de emergencia instalados se garantiza el funcionamiento de centros asistenciales de la salud, instituciones educativas, estaciones meteorológicas, sistemas de bombeo y abasto de agua y plantas de comunicación radial y televisiva. Son aseguradas además industrias tales como la química, farmacéuticas y biotecnológicas, hoteles y plantas de producción, elaboración y conservación de alimentos.

En la actualidad el país dispone de una generación de nuevo tipo y con los recursos necesarios para enfrentar cualquier avería en el servicio al área residencial. (Dalby Fuentes, 2009).

La distribución de los equipos electrodomésticos de mayor eficiencia en los hogares en nuestro país, así como la reparación de las redes eléctricas y otras medidas tomadas en el sector industrial, son parte decisiva en la disminución del consumo de electricidad, aspectos que se enmarcan en los esfuerzos que se realizan en función de minimizar los impactos de la crisis energética y que se recogen en la política energética.

La política energética en Cuba, desde siempre, incluye la electrificación de todo el país y su máximo aprovechamiento y para el siglo XXI basa sus perspectivas en los factores siguientes:

1. Proliferación de una cultura energética encaminada al logro de un desarrollo independiente, seguro, sostenible y en defensa del medio ambiente.
2. Prospección, explotación y uso de las fuentes nacionales de energía, sean convencionales o no.
3. Uso racional de la energía, con el máximo ahorro en su uso final y la utilización de tecnologías de alta eficiencia.
4. Producción distribuida de la electricidad y cerca del lugar de consumo.
5. Desarrollo de tecnologías para el uso generalizado de las fuentes renovables de energía, con un peso progresivo en el balance energético nacional.
6. Participación de todo el pueblo en la revolución energética.

Como se aprecia uno de los principios fundamentales de esta política lo constituye el uso racional de la energía con el máximo ahorro en el uso final de la energía y la utilización de nuevas tecnologías de alta eficiencia, en el cual se enmarca la presente investigación que se desarrolla en la Empresa Nacional de Frigoríficos (Enfrigo).

A pesar de la existencia de una política energética muy bien definida en nuestro país, lo que constituye a su vez una ventaja para que las empresas mayores consumidoras de energía puedan definir las suyas propias y proyectar sus acciones hacia este fin con mayor precisión y estratégicamente bien fundamentadas, la situación actual aún presenta muchas fisuras para mejorar en ese sentido, teniendo en cuenta que cada empresa presenta sus propias características que la diferencian de otras, incluso en aquellas que tengan similares funciones.

Las condiciones en Cuba están creadas a partir de la implementación de los principios de la Revolución Energética para estudiar y mejorar los procesos de uso y consumo de la energía eléctrica, tanto en el sector residencial como en el sector industrial, este último el de mayor peso en las posibilidades de uso eficiente de la energía. Esta investigación se enmarca en el contexto cubano donde cada acción para lograr este propósito, contiene un valor apreciable en los resultados finales de las empresas.

A partir de esta definición de la política energética en el país, la empresa Enfrigo comenzó a desarrollar un conjunto de acciones para la aplicación de la misma, dentro de las cuales se encuentra esta investigación, que pretende definir las deficiencias existentes en la empresa y las acciones necesarias para la correcta aplicación de la política energética para lo cual es necesario la utilización de métodos y herramientas adecuadas y adaptadas a las condiciones particulares de cada empresa.

1.1.3. Elementos esenciales de la eficiencia energética.

En primer orden se tratará de responder de manera sencilla a la pregunta de ¿Qué se entiende por eficiencia energética?

Varios autores han dado respuesta a esta interrogante desde diferentes puntos de vista, con mayor o menor precisión en los elementos que definen su concepción. A continuación se presenta el análisis de definiciones dadas por algunos de los autores que ilustran el concepto que se tomará como base en el desarrollo de esta investigación y que permitieron ofrecer la visión del investigador al respecto, además de recoger los elementos teóricos necesarios como soporte a la aplicación práctica que se realiza en la empresa Enfrigo.

En primer lugar se parte de la definición dada por Avella, en este caso el autor define a la eficiencia energética como el conjunto de acciones que permiten el ahorro de energía en todos sus tipos: eléctrica y térmica. Es la habilidad de lograr objetivos empleando la menor cantidad de energía posible. Es la capacidad de alcanzar los mayores beneficios en el uso final de la energía con el menor impacto sobre el medio ambiente. (Avella, 1997).

Eficiencia de la energía consiste en la disminución del consumo energético en los distintos procesos de producción, transporte, transformación y usos finales que se realizan en todas las actividades de un país, sin que las medidas implementadas impliquen un deterioro de los niveles de productividad o en la calidad de vida del consumidor. (Cartalla R., 1999)

Orozco, 2002, considera que la eficiencia energética es una herramienta para mejorar la productividad y la competitividad de la empresa.

La eficiencia energética como concepto, agrupa las acciones que se toman tanto en el lado de la oferta como de la demanda, sin sacrificar el bienestar ni la producción, permitiendo mejorar la seguridad del suministro. Logrando además, ahorros tanto en el consumo de energía como en la economía de la población en general. Simultáneamente se logran reducciones en las emisiones de los gases de efecto invernadero y mejoras en las finanzas de las empresas energéticas. (Armis, 2002).

Eficiencia energética implica lograr un nivel de producción o servicios, con los requisitos establecidos por el cliente, con el menor consumo y gasto energético posible, y la menor contaminación ambiental por este concepto. (Borroto y Monteagudo, 2006a)

Aunque este autor considera que el concepto de eficiencia energética no es materia acabada y esta es solo una pequeña muestra de autores consultados al respecto, se pueden apreciar coincidencias de estos en cuanto a los aspectos siguientes:

- Implica aprovechar mejor la energía con la consiguiente disminución del consumo energético y menores afectaciones al medio ambiente.
- Usar menos energía sin afectar los requisitos de producción o servicios.

También se consideran, acertadamente, los impactos ambientales y una herramienta de gestión que en definitiva incrementa la competitividad de la empresa en toda su extensión, con lo cual el autor está de acuerdo.

Aunque pudieran referirse otros aspectos más específicos, se considera que en estos se recoge la esencia de la eficiencia energética y deben ser los referentes fundamentales en cualquier investigación que se realice con este fin.

Algunos mecanismos para la introducción del concepto de la eficiencia energética en la empresa podrían ser los siguientes:

- Llevar a cabo un diagnóstico de eficiencia energética en la empresa, por medio del cual se identifiquen los potenciales de ahorro energético.

- Identificar los principales y más frecuentes problemas que se enfrentan en el uso final de la energía
- Considerar que la energía es un insumo de costo variable, que puede ser utilizado de una manera eficiente introduciendo prácticas que permitan el ahorro de este insumo en la empresa.
- La eficiencia energética debe ser un componente integrado en la gestión global de la empresa.
- Implementar las acciones identificadas en el diagnóstico.

Las acciones derivadas del estudio electroenergético en la empresa puede incluir medidas que no impliquen inversiones y otras de mayor envergadura que tengan mayor relevancia tanto por su impacto como por el costo de la misma, estas medidas pueden implicar lo siguiente:

- Medidas de reordenamiento de las actividades y procesos en las empresas.
- Pequeñas inversiones destinadas a lograr mejoras en diversos temas: aislamiento, trampas de vapor, control de cargas, disminución de energías reactivas, etc.
- Medidas legales, como la negociación de tarifas y acuerdos con las empresas proveedoras de energía eléctrica y gas natural.

1.1.4. Tecnologías para la gestión de la eficiencia energética.

Varios autores han tratado la temática de la eficiencia energética en las empresas, particularmente desde lo empírico con metodologías o procedimientos, entre los que se pueden citar CADEM (1993), CONAE (1995), Avella (1997), López Forero (2001), Borroto (2002), Mazorra (2003), SIME (2004), Colectivo de autores (2006), MINBAS (2007), que proponen métodos, herramientas e instrumentos metodológicos para la gestión de la eficiencia en diferentes sistemas empresariales y otras de carácter más general.

Esencialmente estos autores coinciden en los aspectos que tratan a partir de presentar la problemática matizada por instrumentos que permiten:

- Diagnosticar la situación energética de la empresa.

- Definir las acciones correctoras necesarias para incrementar la eficiencia energética.
- Y en algunos casos, cómo implementar estas acciones.

Sin embargo, este autor considera que la presentada por el Colectivo de autores (2006) y el instrumento metodológico del MINBAS (2007), presentan un mayor acercamiento a la problemática actual en la gestión de la eficiencia energética en las empresas y aunque tienen un carácter general que no consideran las particularidades de determinado sector empresarial, pero sí constituyen las bases fundamentales para esta investigación. Por esta razón fundamental se exponen los aspectos esenciales de la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía.

Aspectos generales de la Tecnología de Gestión Total y Eficiente de la Energía.

La eficiencia energética, entendida como la eficiencia en la producción, distribución y uso de la energía necesaria para garantizar la calidad total, es parte del conjunto de problemas que afectan la competitividad de las empresas o instituciones. La gestión energética, es un componente del sistema de gestión empresarial como subsistema, abarca las actividades de administración y aseguramiento de la función gerencial que le confieren a la entidad la aptitud para satisfacer eficientemente sus necesidades energéticas, a partir de entender la eficiencia energética como el logro de los requisitos establecidos por el cliente con el menor gasto energético posible y la mínima contaminación ambiental por este concepto.

La Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía (TGTEE) consiste en un conjunto de procedimientos, herramientas técnico-organizativas y software especializado que aplicado de forma continua y con la filosofía de la gestión total de la calidad, permite establecer nuevos hábitos de dirección, control, diagnóstico y uso de la energía, dirigidos al aprovechamiento de todas las oportunidades de ahorro, conservación y reducción de los costos energéticos en una empresa. (Anexo 1)

La forma de aplicación de la TGTEE con los criterios de mejoramiento continuo se ejecuta de forma sistemática, donde aparecen los componentes básicos en cada etapa. Su objetivo es, además de diagnosticar, elevar las capacidades técnico organizativas de la empresa, incorporar la gestión de mantenimiento (en nuestro caso se utiliza el sistema de Gestión de Mantenimiento Integral que es común en las empresas del SIME) y también el estudio socio ambiental y la gestión tecnológica. En la TGTEE se incluye la capacitación del personal

vinculado al consumo energético incluyendo al consejo de dirección del centro, además tiene en cuenta la identificación de las oportunidades de conservación y uso eficiente de la energía en la empresa; la proposición en orden de factibilidad de los proyectos para el aprovechamiento de las oportunidades identificadas. (González-Posada, 2009)

La TGTEE no tiene solo por objetivo diagnosticar y dejar elaborado un programa, sino elevar las capacidades técnico-organizativas de la empresa para ser autosuficiente en la gestión por la reducción de sus costos energéticos. Se valoran medidas sencillas y de baja inversión para la reducción de los costos energéticos; entrena, capacita y organiza los recursos humanos que deciden la reducción de los consumos y gastos energéticos, creando una nueva cultura energética; e instalar en la empresa procedimientos, herramientas y capacidades para su uso continuo y se compromete con su consolidación. (Parellada Gamio, 2009).

¿Qué hace la tecnología de la Gestión Total Eficiente de la Energía?

- Capacita al Consejo de Dirección y especialistas en el uso de la energía.
- Establece un nuevo sistema de evaluación y control del manejo de la energía.
- Identifica las oportunidades de conservación y uso de la energía en la empresa.
- Propone, en orden de factibilidad, las medidas para el aprovechamiento de las oportunidades identificadas.
- Organiza y capacita a los trabajadores vinculados al consumo energético en hábitos de uso eficientes.
- Establece un Programa efectivo de concientización y motivación de los recursos humanos de la empresa hacia la eficiencia energética.
- Prepara a la Empresa para auto diagnosticarse en eficiencia energética.
- Establece en la empresa, las herramientas necesarias para el desarrollo y perfeccionamiento continuo de la Tecnología.

¿Qué recibe la empresa con la Implantación de la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía?

- El Establecimiento de un sistema actualizado de manejo eficiente de la energía con un servicio de seguimiento y control del funcionamiento adecuado del sistema durante los 6 meses posteriores a la puesta en funcionamiento, para garantizar su consolidación y resultados.
- La determinación de la estructura de consumo por portadores energéticos y áreas.
- La determinación de la estructura de pérdidas por portadores y áreas.
- La determinación de la estructura de impacto ambiental energético por áreas.
- La determinación y justificación de los índices de consumo, de eficiencia y de economía energética de la empresa.
- La normación de estos índices a nivel de empresa, áreas y equipos mayores consumidores.
- El establecimiento y/o actualización del sistema de contabilidad energética de la empresa.
- La identificación del banco de problemas energéticos, debidamente justificados, técnica y económicamente.
- La formulación del banco de soluciones energéticas y su justificación técnico-económica.
- El plan de prioridades de ejecución de las soluciones energéticas en función del escenario financiero que establece la dirección de la empresa.
- La organización y capacitación de los recursos humanos vinculados al consumo de la energía para el control y evaluación de la eficiencia en las áreas claves.
- El establecimiento de un programa efectivo de concientización y motivación hacia la eficiencia energética.
- La capacitación del Consejo de Dirección y los especialistas de la empresa para la permanencia, desarrollo y perfeccionamiento de la tecnología.

- La propuesta de un Plan de Seguimiento y Control de la Tecnología de Gestión Total de la Eficiencia Energética en la empresa, a su Consejo de Dirección.
- El vinculo permanente con un centro actualizado en tecnologías de uso eficiente de la energía.

¿Cómo se implanta la Tecnología de gestión en una empresa?

Se realiza mediante un ciclo de capacitación, diagnóstico energético, estudio socioambiental, establecimiento de herramientas y presentación de la documentación; que requiere de 4 meses de duración. Posterior a este ciclo, se realiza un seguimiento de 6 meses que concluye con la evaluación conjunta del impacto de la implantación de la Tecnología en la eficiencia energética de la empresa.

¿Qué debe realizar la empresa para la Implantación de la Tecnología?

- Realizar la solicitud del servicio a los especialistas en implantación de la tecnología.
- Facilitar las actividades de capacitación a especialistas y al Consejo de Dirección.
- Facilitar la organización y capacitación de los trabajadores vinculados al consumo de energía.
- Facilitar el diagnóstico energético de nivel 2 y el estudio socioambiental de la empresa.
- Dar toda la información requerida.
- Participar en la evaluación del impacto de la Tecnología.
- Evaluar periódicamente el progreso de la implantación de la Tecnología en su Consejo de Dirección.

Esta u otra tecnología le permite a una empresa productiva o de servicios, establecer un Sistema de Gestión Energético que permita entre otras funciones el control de los consumos y la proyección adecuada para el uso racional de los mismos. Identificar los potenciales de ahorro y elaborar un programa de ahorro completo debidamente cuantificado, en el que se reflejen los elementos posibles, están dentro de las ventajas de poseer un sistema energético debidamente establecido.

I.2. Funcionamiento de los frigoríficos y ahorro de energía.

En este epígrafe se describen de manera esencial los elementos que se consideran necesarios en los frigoríficos para lograr comprender, analizar y posteriormente mejorar la eficiencia electroenergética de este tipo de instalaciones.

1.2.1. Características técnicas de los ciclos estándares de las instalaciones frigoríficas y aires acondicionados. (Oganesián y Delgado, 1987; Rodríguez-Pomata, 1994, Kirilin y otros, 1997; Orozco, 2004; Claus y Hinojosa, 2004; Jessik, 2008).

El método más utilizado para producir refrigeración mecánica se conoce como el sistema de refrigeración por compresión de vapor. En tal sistema o ciclo, un fluido (refrigerante) se evapora y se condensa alternativamente, donde uno de los procesos que intervienen en el sistema es la propia compresión de vapor del refrigerante. El análisis teórico de este sistema se basa en un ciclo clásico, el ciclo de Carnot. Sobre el cual se hacen algunas modificaciones prácticas para obtener el ciclo real de compresión de vapor.

El rendimiento de ciclo de Carnot es mayor que el de cualquier otro ciclo que trabaja entre dos temperaturas extremas iguales. La máquina térmica de Carnot recibe energía de un foco caliente a altas temperaturas y cede una parte a otro foco frío a baja temperatura después de haber convertida una parte de la energía recibida en trabajo útil.

El ciclo de Refrigeración de Carnot consigue el efecto inverso de la máquina térmica de Carnot, porque transporta energía desde un foco frío a otro a alta temperatura. Para poder realizar esto se necesita suministrar un trabajo externo.

Los procesos de ciclo de Carnot consisten en:

- compresión adiabática,
- cesión de calor isoterma,
- expansión adiabática,
- absorción de calor isoterma.

Todos estos procesos del ciclo de Carnot son termodinámicamente reversibles. El proceso de refrigeración se realiza durante la absorción de calor que resulta ser el único proceso útil

en el ciclo. Los demás procesos garantizan el cese de calor a un medio caliente a altas temperaturas.

Las dos razones por las cuales se debe siempre partir del estudio del ciclo de Carnot son:

- a) Es un ciclo ideal que sirve como base de comparación.
- b) Es una guía conveniente sobre las temperaturas que deberían mantenerse para conseguir el máximo rendimiento.

Coeficiente de funcionamiento del ciclo teórico.

Para poder evaluar el grado de bondad del funcionamiento de un sistema de refrigeración, debe definirse un término que exprese su efectividad. No se puede usar el término 'rendimiento' porque en termodinámica, significa una relación de la salida y la entrada, ya que la salida (proceso donde se cede el calor), no es generalmente aprovechable. Aunque la idea de rendimiento se conserva en Refrigeración al utilizar el índice de funcionamiento del ciclo de Refrigeración que se representa por la siguiente expresión:

$$\frac{\text{Cantidad de comodidad obtenida}}{\text{Cantidad de gasto}}$$

Este índice se llama coeficiente de funcionamiento normalmente abreviado con las siglas en inglés COP (Coefficient of Performance).

$$COP = \frac{\text{Refrigeración útil}}{\text{Trabajo neto}}$$

Los dos términos tienen las mismas unidades significando que el COP es una magnitud adimensional. Es de desear tener el mejor coeficiente de funcionamiento posible, puesto que esto indica que una Refrigeración dada, necesita el menor trabajo posible. Se expresa el COP del ciclo de Carnot en función de las dos temperaturas de absorción y de cese de calor. El ciclo de Carnot se representa en un diagrama T-S en la figura 1.

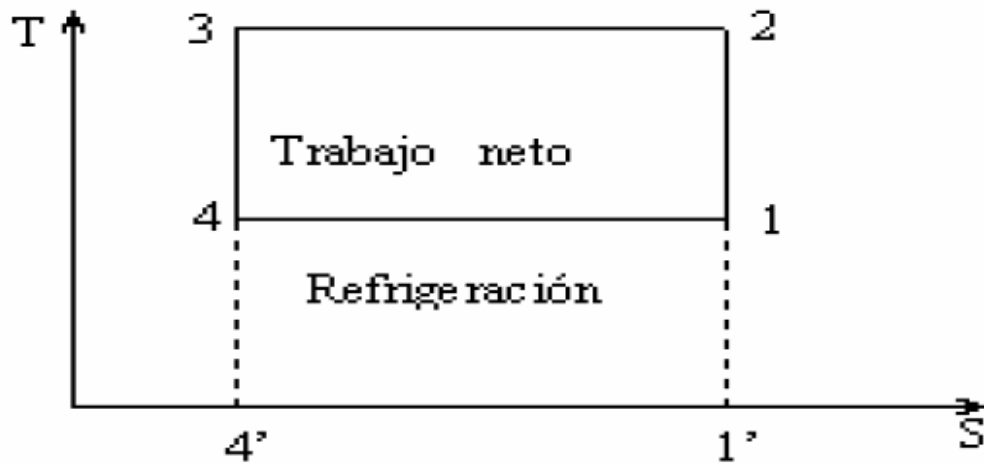


Figura 1. Diagrama del ciclo de Carnot.

La Refrigeración útil es el calor absorbido en el proceso 4 - 1, o sea, el área por debajo de 4 - 1. El área por debajo de proceso 3 - 2 representa el calor cedido, y la diferencia entre estas dos áreas da el trabajo neto realizado.

$$\text{El } COP_{Carnot} = \frac{T_1}{T_2 - T_1}$$

Límites de la temperatura.

Podría formarse un concepto erróneo, (al analizar la expresión del COP de Carnot) siguiente:

- Trabajar con un T1 infinito.
- Trabajar con un T2 lo más pequeño posible.

O sea, se podría pensar que se puede obtener un COP infinito.

Un estudio más completo nos demuestra que ciertos límites de temperatura vienen siempre impuestos por el sistema de Refrigeración. Por ejemplo, si el sistema debe mantener un foco

frío a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ y puede desprender el calor a la atmósfera a $32\text{ }^{\circ}\text{C}$, estos son los dos límites de temperatura que el ciclo tiene que respetar.

Durante el proceso de cesión de calor, la temperatura de Refrigeración tiene que ser superior a $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ y durante la absorción, la temperatura del refrigerante, debe ser inferior a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ para que pase el calor del foco frío al refrigerante.

Este ciclo no sería exactamente el llamado ciclo de Carnot, porque todos los procesos de Carnot son reversibles y las transferencias de calor, cuando existe una diferencia de temperatura, son procesos irreversibles.

Aunque el ciclo de Carnot tiene un buen coeficiente de funcionamiento es necesario, por consideraciones prácticas, hacer ciertas modificaciones. Estos cambios se hacen en el proceso de compresión y en el proceso de expansión. La compresión es una compresión seca, evitando el problema de golpe líquido y el proceso de expansión es isoentálpica es decir $h_3 = h_4$. Después de estas modificaciones del ciclo de Carnot, lo que se obtiene es un ciclo que más bien se parece al ciclo real, llamado "ciclo estándar".

Ciclo estándar:

Los procesos que comprende el ciclo estándar de compresión de vapor son:

- Compresión adiabática desde vapor saturado hasta la presión del condensador.
- Rechazo de calor a presión constante en la zona de recalentamiento y posterior condensación.
- Expansión entálpica desde líquido saturado hasta la presión del evaporador.
- Adición de calor a presión constante durante la evaporación del vapor saturado.

Para poder hacer el estudio de la Refrigeración, es necesario conocer las siguientes propiedades termodinámicas de las sustancias usadas como refrigerante:

- Línea de vapor y líquido saturado.
- Líneas de entropía y volumen específico constantes.
- Líneas de temperaturas constantes

Se representan estas propiedades en diagrama como el de presión-entalpía (el gráfico más corriente) ya que todos los refrigerantes usados comúnmente en los sistemas de compresión de vapor presentan características similares, aunque los valores numéricos de estas propiedades varían de un refrigerante a otro.

El ciclo estándar de compresión del vapor y el esquema típico de una instalación se representan en la (Figura 2).

El proceso 1-2 es la compresión isoentrópica a lo largo de la línea de entropía constante desde el estado de vapor saturado hasta la presión del condensador. El proceso 2-3 es a presión constante, en un principio en la región del vapor sobrecalentado, seguido de una condensación, y es una línea horizontal en el diagrama p-h. El proceso de estrangulamiento, 3-4 es a entalpía constante, y por tanto, la línea representativa es vertical. Por último, el proceso de evaporación está representado por una línea recta horizontal, porque el flujo del refrigerante a través del evaporador se supone que es a presión constante.

Como se puede apreciar se ha representado en un diagrama p-h casi todas las propiedades termodinámicas importantes del refrigerante durante el análisis de una instalación de Refrigeración.

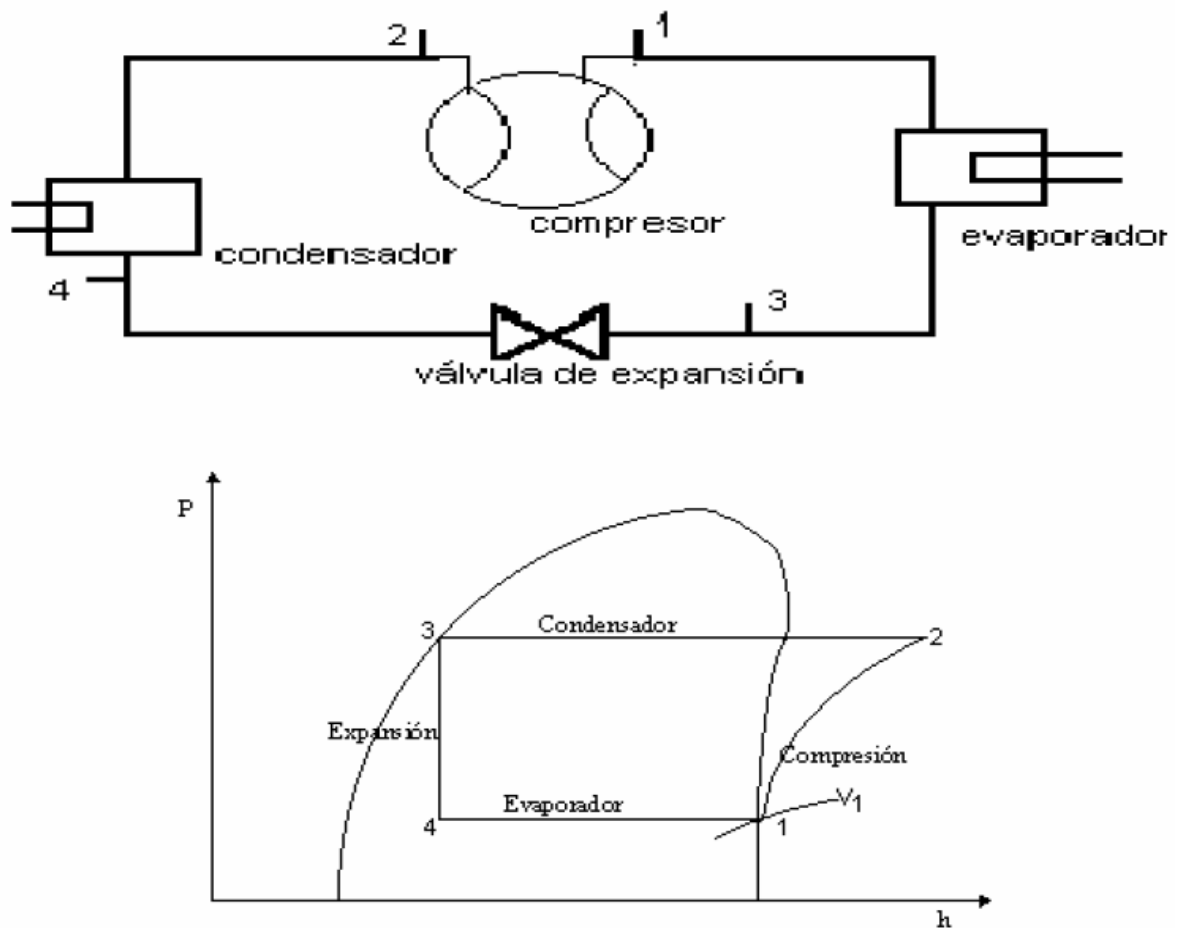


Figura 2. Ciclo estándar de compresión del vapor y el esquema típico de una instalación frigorífica.

Ciclo real de compresión de vapor

El ciclo real de compresión de vapor (Figura 3) no es exactamente igual al ciclo estándar, sino que en éste se hace en la práctica ciertos cambios, bien de forma inevitable o intencionalmente. Las diferencias esenciales radican en la caída de presión en el evaporador y condensador, el subenfriamiento del líquido y el sobrecalentamiento del vapor.

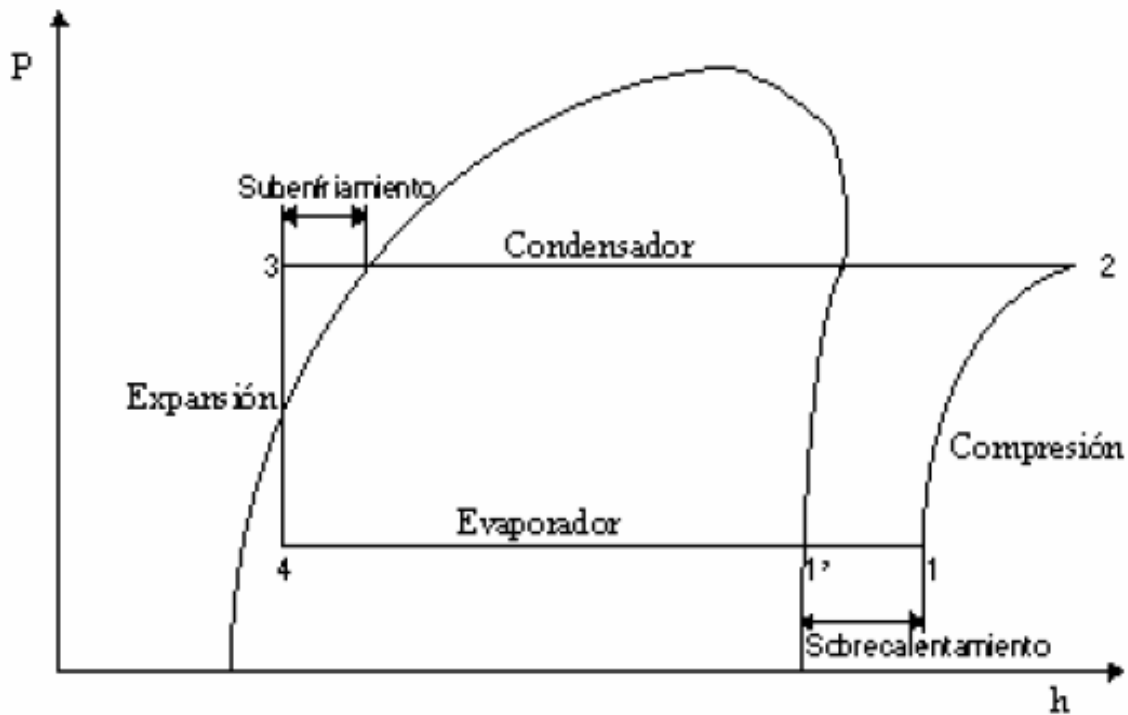


Figura 3. Ciclo real de compresión de vapor.

1.2.2. Influencia de los cambios de parámetros del ciclo en su funcionamiento.

A continuación se realiza un análisis simple de las variaciones que provocan en el funcionamiento de una instalación frigorífica los cambios de los parámetros fundamentales del ciclo de refrigeración.

Claus e Hinojosa (2004), Orozco (2004) y Jessik (2008)

A.- Variación de la temperatura de evaporación

Mientras mayor sea la temperatura de evaporación de un sistema de refrigeración, menor será su consumo de energía. Un aumento de 1°C , podría significar ahorros que van entre un 1% y un 4%.

La reducción del volumen específico del refrigerante, asociado al aumento de la temperatura de evaporación, afecta la capacidad frigorífica del compresor y las pérdidas en la línea de

succión. Es posible estimar que por cada 1°C de aumento en la temperatura de evaporación, podría obtenerse un aumento de un 4% a un 6% en la capacidad frigorífica del compresor.

Un aumento en la temperatura de evaporación resulta en los siguientes:

- Aumenta el efecto de refrigeración. Se requiere menos gas de vaporización súbita para enfriar el refrigerante a una temperatura de evaporación más elevada, dejando una mayor proporción del líquido para realizar refrigeración útil en el evaporador.
- Disminuye el flujo másico por tonelada de refrigerante, al aumentar el efecto de refrigeración.
- Disminuye el calor de compresión, debido a que se requiere menos trabajo para comprimir el gas dentro de un menor intervalo de presión.
- Disminuye el calor rechazado por tonelada en el condensado. Debe observarse que no cambia mucho el rechazo de calor por libra de refrigerante que circula. Esto se debe a que, si bien el efecto de refrigeración aumenta, el calor de compresión disminuye. No obstante, la disminución del flujo másico resulta en una disminución del calor total de rechazo.
- Disminuye el desplazamiento por kg. requerido por la compresión. Esto se debe a que disminuye tanto el flujo másico refrigerante como su volumen específico.
- Disminuye la potencia requerida por kg. Esto se debe a que disminuye tanto el trabajo de compresión, como el flujo másico.
- Aumenta el COP, debido a que aumenta el efecto de refrigeración y disminuye el calor de compresión.

Algunas maneras de aumentar la temperatura de evaporación según MYCOM (2006), son:

- Mantener los evaporadores libres de hielo.
- Evitar obstrucciones al flujo de aire en las cámaras de frío.
- Mantener los intercambiadores de calor libres de obstrucciones, aceite, etc.

- Evitar la acumulación de aceite de los compresores en los evaporadores, para esto es necesario dimensionar correctamente las líneas de succión y utilizar separadores de aceite eficientes.
- Limpiar o cambiar periódicamente los filtros de refrigerante, con el fin de evitar minimizar las pérdidas de presión a través de ellos.
- Elevar la temperatura de evaporación hasta el mayor valor posible, en función de las necesidades del proyecto.

La disminución de la temperatura de evaporación tiene un efecto opuesto al de las conclusiones indicadas anteriormente.

B.- Variación de la temperatura de condensación.

Cuando tiene lugar la disminución en la temperatura de condensación ocurre lo siguiente:

- Aumenta el efecto de refrigeración. Esto es así porque el refrigerante requiere menos enfriamiento debido a la más baja temperatura de condensación, quedando disponible más refrigerante líquido para realizar la refrigeración útil.
- Disminuye el flujo másico por tonelada de capacidad de refrigeración, debido a que aumenta el efecto de refrigeración. Disminuye el calor de compresión debido a que se requiere menos trabajo para comprimir, dentro de un intervalo de presión más reducido.
- Disminuye el calor rechazado en el condensador. Se observará que el rechazo de calor por libra de refrigerante que circula, no experimenta mucho cambio, esto se debe a que, si bien el efecto de refrigeración aumenta el calor de compresión disminuye. Sin embargo, la disminución en el flujo másico resulta en una disminución del calor rechazado.
- Disminuye el desplazamiento requerido por tonelada en el compresor. Esto tiene lugar porque disminuye el flujo másico de refrigerante. No cambia el volumen específico en la succión del compresor.
- Disminuye la potencia requerida por tonelada. Esto se debe a que disminuye tanto el trabajo de compresión como el flujo.

- Aumenta el coeficiente de funcionamiento debido a que aumenta el efecto de refrigeración y disminuye el calor de compresión.

Cuando se cambia la temperatura de condensación en los ciclos reales, tienen lugar los mismos tipos de efectos de energía. Un método simple y práctico para mantener bajas la temperatura de condensación, consiste en mantener limpio los tubos del condensador.

La presión de condensación o de descarga cambia con la carga de refrigerante y con la temperatura y el régimen de flujo del medio de enfriamiento. Si la carga de Refrigeración aumenta, aumentaría así mismo la cantidad de refrigerante que fluye a través del condensador. Esto eleva la presión de condensación (descarga) y por lo tanto, la temperatura de condensación.

Una temperatura elevada de condensación dará por resultado una disminución de la capacidad del sistema, un aumento en la potencia del compresor, y una posible sobrecarga del motor del compresor. Esto puede ser perjudicial tanto al compresor como al motor. Esto implica que la correcta selección del condensador y su mantenimiento se convierten en elementos importantes para garantizar una explotación eficiente del sistema y por tanto una disminución de los consumos de energía.

C.- El sobrecalentamiento en el evaporador.

El sobrecalentamiento en el evaporador provoca un aumento en el efecto frigorífico y una disminución del desplazamiento del compresor debido a la reducción en el flujo másico. La razón principal de sobrecalentar en el evaporador, es que se provee así un medio excelente de controlar el flujo del refrigerante. Esto tiene su inconveniencia en que es necesario aumentar la superficie de evaporador a fin de proveer la transferencia adicional de calor para sobre calentar el vapor.

D.- El sobrecalentamiento en la línea de succión.

El sobrecalentamiento en la línea de succión que no produce un enfriamiento útil, presenta los resultados siguientes:

- Aumenta el calor de compresión.
- Aumenta el calor de rechazo. Es preciso remover el sobrecalentamiento adicional además de que el calor de comparación aumenta.

- Aumenta la potencia requerida por tonelada en el compresor, debido al aumento del calor de compresión.
- Disminuye el coeficiente de rendimiento debido al aumento del calor de compresión.
- Aumenta el calor desplazamiento requerido en el compresor debido al aumento del volumen específico.

Es necesario prever el aislamiento a la línea de succión, a fin de reducir cualquier sobrecalentamiento indeseable. Esto presenta un beneficio adicional al evitar la condensación de la humedad sobre la tubería.

E.- El subenfriamiento del refrigerante

El refrigerante líquido puede sub-enfriarse, ya sea en el condensador o en un intercambiador adicional de calor.

El sub-enfriamiento resulta en una potencia más baja requerida por el compresor, por unidad de capacidad y un mayor coeficiente de rendimiento. Además, también disminuye el desplazamiento requerido por el compresor. Luego, resulta obvio que el sub-enfriamiento es conveniente y constituye por tanto una práctica común. Desde el punto de vista de la conservación de la energía, el sub-enfriamiento puede fácilmente reducir el consumo de energía de un 5% a un 15%.

Constituye una ventaja adicional del sub-enfriamiento, el hecho de que se reduce la posibilidad de que tenga lugar una vaporización súbita del refrigerante líquido en la línea del líquido antes de llegar al dispositivo de control de flujo. Esto sucederá si tuviera lugar una excesiva caída de presión en la línea del líquido. Como el gas de vaporización súbita posee un volumen específico más elevado que el líquido, el flujo másico se reduciría, afectando adversamente el funcionamiento del sistema.

1.2.3. El compresor como uno de los componentes principales del sistema de frío.

Aunque todos los componentes y accesorios del sistema de refrigeración presentan influencias determinadas en la eficiencia frigorífica y energética a continuación se expondrán algunas características de algunos de los componentes que en este estudio tienen mayor implicación, tanto en el diagnóstico como en el impacto que producen en la eficiencia y funcionamiento del sistema frigorífico.

El compresor frigorífico es la parte más importante del sistema ya que es el encargado de mover el refrigerante entre el elemento a enfriar y el elemento receptor de esta energía, por tanto se puede decir que es el motor del sistema y sin el cual sería imposible el transporte de dicha energía. (Botana, 2005; MYCOM, 2006).

En cualquier diagrama frigorífico se puede observar la posición que ocupa el compresor dentro de un sistema convencional compuesto por un condensador, una válvula de expansión y un evaporador. Evidentemente, en el caso de fallo total de alguno de estos elementos, el sistema también dejaría de funcionar pero la experiencia demuestra que esto ocurre en muy contadas ocasiones ya que tanto el evaporador como el condensador se componen de tubos y por tanto, sus posibilidades de fallo son limitadas. Igualmente la válvula de expansión, aunque se compone de más elementos, no suele ser un problema. Por último, en el caso de un sistema por bombeo de refrigerante siempre existe una bomba de reserva con lo que deja de ser un componente crítico para el buen funcionamiento del sistema. (Ibídem)

El compresor sin embargo, es la parte del sistema que cuenta con más elementos en movimiento y por tanto susceptibles de romperse, de hecho, es el responsable de la mayoría de los problemas que provocan paros en la producción y también es el responsable del consumo de la mayoría de la potencia eléctrica de la instalación frigorífica en tanto este es un elemento que debe ser conocido a profundidad para asegurar con ello una correcta elección, garantizando así la seguridad y eficiencia frigorífica de explotación y por ende la eficiencia energética en el sistema.

Los pilares fundamentales para una correcta elección se pueden definir y ordenar del modo siguiente:

- **Fiabilidad mecánica:** evidentemente, lo que quieren todas las partes implicadas en la elección de un compresor es que éste no se rompa, ya que de suceder esto, el más afectado sería el cliente final al que no sólo se le rompe un compresor sino que también se le para toda la línea de producción. En consecuencia, el cliente final reclamará al instalador y éste al proveedor, así será para todos ellos un gran problema. Por tanto, un compresor debe ser fiable y funcionar correctamente.
- **Rendimiento energético:** una vez que tenemos la seguridad de que el compresor es robusto, la principal preocupación debería ser el consumo de energía eléctrica que el

compresor necesita para producir el frío que demanda el cliente final. No se puede olvidar que el compresor se paga una vez, pero la energía que éste consume se pagará por cada minuto que funcione. En algunos casos, las diferencias de consumo eléctrico entre los compresores disponibles en el mercado son muy importantes sobrepasando incluso el 15%, factor que debe ser tenido en cuenta.

Entonces se puede considerar el compresor como uno de los componentes fundamentales para el análisis de la eficiencia energética en una instalación frío y de los de mayores impactos en la misma.

Los tipos de compresores que fundamentalmente se utilizan en una instalación frigorífica son el compresor alternativo y el compresor de tornillo. A continuación se exponen algunas características en su utilización en la refrigeración industrial.

✓ **Compresor alternativo:**

Ventajas:

- Precio hasta un 50% más barato que su equivalente el compresor de tornillo.
- Mejor COP a cargas parciales.
- Mantenimiento frecuente pero sencillo, y conocido prácticamente por todo el personal mecánico: el mantenimiento de un compresor alternativo se realiza cada 10 000 horas aproximadamente y varía según potencia y fabricante. Como norma, podemos decir que a menor potencia menor mantenimiento.
- Sigue siendo el compresor que más se emplea en el frío comercial.

Desventajas:

- Regulación de capacidad por etapas.
- Frecuentes mantenimientos: relación 2.5 = 1.
- Temperaturas de descarga más elevadas lo que implica más consumo de aceite: Esta afirmación se basa en los sistemas de separación de aceite empleados con más frecuencia. Para obtener los mismos niveles de separación que en un compresor de tornillo es necesario que el sistema sea más sofisticado.

- ✓ **Compresor rotativo de tornillo:** este compresor es el último en incorporarse al mercado de la refrigeración y como ya se ha comentado, ha provocado un cambio en la fabricación de compresores alternativos. Es el compresor que más se emplea en volúmenes superiores a 400m³/h.

Ventajas:

- Es el compresor más empleado en refrigeración industrial.
- Cuenta con menos mantenimiento: Relación 2.5 = 1
- Cuenta con menos partes móviles y por tanto susceptibles de problemas.
- Mejor COP al 100% de capacidad.

Desventajas:

- Mayor precio.
- Mano de obra especializada para su mantenimiento.

En los últimos modelos de compresores de tornillos se ha logrado un aumento en la producción frigorífica entre el 5 y el 15%, con reducciones en las potencias absorbidas entre el 2 y el 5%.

En resumen, se puede afirmar lo siguiente:

- **Fiabilidad mecánica:** el compresor de tornillo cuenta con menos piezas en desgaste y menos mantenimiento.
- **Rendimiento energético:** el compresor de tornillo tiene un rendimiento superior al alternativo cuando la instalación se encuentra a plena producción.
- **Precio:** El precio del compresor alternativo es menor que el del compresor de tornillo.

Aunque estas son las características generales que permiten a la gran mayoría de los clientes finales, analizar ambas opciones, también existen otras características técnicas que modifican en mayor o menor medida lo antes expuesto y que son importantes valorar.

Será necesario analizar el comportamiento de los dos tipos de compresores en situaciones extremas de demanda de capacidad, de forma que se pueda ver con claridad, cuál es el compresor que menos energía consume en la situación más típica del sistema que sea objeto de estudio. Las condiciones de explotación definen en muchas ocasiones, cuál es el mejor compresor a utilizar no obstante, los cálculos que se realicen, es importante validar su funcionamiento después de su instalación en el sistema de frío, por ello es necesario tener previsto los parámetros de control a utilizar y los periodos de este control.

I.3. Los frigoríficos en Cuba. La empresa Enfrigo.

Esta empresa se creó en 1959 y se subordinó al Instituto Nacional de Recursos Agropecuarios (INRA), nombre inicial del Ministerio de la agricultura MINAGRI.

En 1960 existían 8 frigoríficos que se utilizaban para guardar producciones agrícolas con asesoramiento de la antigua República de Bulgaria y construcción civil cubana (parte del equipamiento de origen Rumano y Búlgaro). En 1970 se incrementaron a 16, dado el incremento de las producciones agrícolas, así como el apoyo de alimentos que brindaba el campo socialista.

En la década del 80, por el envejecimiento de los 16 frigoríficos, el país decide efectuar un fuerte proceso inversionista conjuntamente con la República Búlgara y el apoyo del Consejo de Ayuda Mutua Económica (CAME), construyéndose 14 nuevos frigoríficos en el periodo de tres quinquenios (80-85; 85-90 y 90-95). La década del 90 se considera la mejor etapa de instalaciones frigoríficas, en primer lugar por la existencia de un sobrante de recursos del proceso inversionista de la anterior década, en segundo lugar, por la asignación de recursos anuales para la compra en Moneda Libremente Convertible (MLC) de recursos que Bulgaria suministraba o eran de pésima calidad en otros mercados y en tercer lugar porque debido al reordenamiento económico del país a varias entidades estatales se destinaban productos que almacenaron en sus instalaciones, destinándose las divisas obtenidas de estos servicios a la explotación y el mantenimiento de sus instalaciones, lo cual provocó un mejoramiento y crecimiento de la empresa.

A partir del año 2000 se presentó un deterioro de la infraestructura tecnológica de las instalaciones de la empresa, produciéndose condiciones inseguras en la explotación de los 30 frigoríficos que la componen, dado en lo fundamental por un déficit de financiamiento para el manteamiento, reposición y la significativa disminución de dirigentes y obreros en general

por la pérdida de competitividad de la empresa y otros aspectos relacionados con los sistemas de estimulación y motivación sobre todo en lo salarial las que hicieron más atractivas otras ofertas de trabajo.

De este análisis se concluye que en la actualidad existe un envejecimiento tecnológico de las instalaciones, agravado por el déficit de personal y el envejecimiento de su personal técnico, dirigentes y obreros en general.

En el 2003 se decide realizar acciones encaminadas a mitigar o eliminar el creciente deterioro de las instalaciones frigoríficas de la empresa, cuya composición contaba con 29 grandes frigoríficos que jugaron un gran papel en el abastecimiento de la población. Estos frigoríficos se construyeron en su mayoría en la década del 70 y 80, de acuerdo a los requerimientos técnicos de aquella época. Su estado técnico debido a su uso continuado y a las dificultades en el abastecimiento de piezas de repuesto, en el referido año presentaba un deterioro por lo que fue necesario desde entonces ser renovados.

En el año 2003 se realizó un primer cambio en las tecnologías, tomando al frigorífico de Habana del Este, proponiendo las soluciones más adecuadas a las posibilidades existentes, con énfasis especial en el ahorro de energía, en su funcionamiento y en su mantenimiento posterior. En correspondencia y en concordancia con las exigencias expuestas, fueron sugeridos los compresores alternativos o de émbolo, condensadores evaporativos enfriados con agua, ventiladores para el enfriamiento del aire, grupos de válvulas automáticas de dilución de gases calientes. Sobre la base de los datos previos obtenidos en el lugar, se calculó una temperatura de condensación de 30°C, la demanda en energética en el grado inferior en 280-300 kW, mientras que la superior sería de 480 kW.

En consecuencia, como resultado del estudio realizado con la participación de especialistas, de proveedores y la propia empresa, las principales pérdidas energéticas que se localizaron en este año (2003) fueron:

- Pérdidas por baja eficiencia en los compresores.
- Pérdidas por baja eficiencia de las cortinas de aire.
- Pérdidas por incrustaciones en los condensadores
- Pérdidas de fríos por las puertas en mal estado.
- Pérdidas por aislamientos de paredes y techos en mal estado.

- Pérdidas por aislamiento deteriorado de tuberías.

El 5 de mayo del 2005 en el Consejo de Dirección de la Empresa se presentó un informe para su análisis y discusión titulado “Resumen del Diagnóstico y Evaluación Realizada sobre los Frigoríficos del País”.

En síntesis, el contenido de este informe, refería lo siguiente:

- El promedio de edad de los Frigoríficos es de 33 años de explotación y 5 de ellos datan de 1944, de ahí que su tecnología se considere atrasada y constructivamente esté deteriorada.
- Existen (203) compresores, de ellos se desglosan de acuerdo al área de fabricación, en: rumanos (17), rusos (43), búlgaros (79), alemanes (11), daneses (2), chinos (8) y japoneses (43).

Del análisis realizado hasta aquí de la situación en la Empresa Enfrigo se puede concluir que los niveles bajos de eficiencia energética se centran en tres direcciones fundamentales:

- El deterioro y obsolescencia de la infraestructura tecnológica.
- Deficiencias en la explotación y el mantenimiento por carencia de recursos y herramientas de gestión.
- Y lo relacionado con la disponibilidad y competencia del personal de la empresa, particularmente en la operación.

Aunque se han ejecutado acciones encaminadas a la mejora de la eficiencia energética en la empresa, éstas no han tenido los resultados esperados y aún son insuficientes. No se ha logrado utilizar las herramientas para la gestión energética, que fundamentadas teóricamente, tengan la pertinencia empírica necesaria y contribuyan a su mejoramiento. Un estudio de la proyección del consumo de energía eléctrica en el año (2009) arrojó que los consumos de energía eléctrica no se corresponden con los estimados y que son, como se hacía referencia anteriormente, suficientes para lograr los objetivo propuestos de reducir el consumo en un 39%, evidenciando la necesidad de un diagnóstico más profundo y la proyección de mejoras y su ejecución cuyo impacto se corresponda con las expectativas de mejora de la empresa Enfrigo.

1.4. Conclusiones parciales

1. La creciente preocupación mundial acerca del futuro del planeta ha establecido un importante punto de partida respecto al cuestionamiento de los patrones actuales de producción y consumo de energía. Existe hoy día la certeza de la urgente necesidad de garantizar la seguridad energética. La demanda mundial de energía está creciendo y la excesiva dependencia de las importaciones energéticas de unos pocos países, generando inestabilidad e inseguridad en el suministro y los precios, han colocado la seguridad energética como tema de preocupación en las agendas políticas de los gobiernos de todo el mundo.
2. El impacto de la crisis mundial con respecto a la seguridad energética ha encontrado en Cuba, en esta primera década del milenio, una respuesta integral en un sistema llamado Revolución Energética la cual, la Empresa Nacional Enfrigo ha acogido con particular prioridad dado su objeto social y el lugar que ocupa como alto consumidor de energía.
3. La eficiencia energética de una instalación frigorífica está estrechamente relacionada con su eficiencia frigorífica por lo que del tipo de tecnología utilizada en sus elementos componentes y de su mantenimiento, entre otros aspectos, dependen en gran medida los consumos eléctricos que se obtengan y por tanto la eficiencia electroenergética en sí misma.
4. El estudio de la proyección del consumo de energía eléctrica para el año 2009 arrojó que los resultados alcanzados a partir de las acciones anteriores no se corresponden con el objetivo de disminuir el consumo de energía eléctrica en la empresa del 39%, de ahí que la búsqueda de alternativas para lograr una gestión energética eficiente constituya hoy un objetivo primordial.

CAPÍTULO II. DIAGNÓSTICO Y MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

Tomando en consideración el análisis realizado en el capítulo anterior, se reconocen las brechas de mejora de la eficiencia energética en las instalaciones frigoríficas, así como la necesidad de conocer en las condiciones concretas en la empresa cuáles son las insuficiencias que dan pie a estas brechas. Estas razones demandan la aplicación de herramientas o procedimientos que permitan realizar un diagnóstico en la empresa sobre la situación actual de la gestión energética. Con este fin y sustentado en la revisión de los procedimientos y herramientas de gestión, se adopta en las condiciones particulares de la investigación, el procedimiento general que se muestra en la (Figura 4), en el que se integran diferentes herramientas para lograr el objetivo de mejorar la eficiencia energética en instalaciones de la empresa Enfrigo. Como herramienta para el diagnóstico de la eficiencia electroenergética se utiliza la guía de supervisión del Ministerio de la Industria Básica (MINBAS, 2008), diseñada sobre la base de las experiencias de la Universidad de Cienfuegos, la CUJAE y otras entidades ministeriales.

2.1. Descripción del procedimiento de mejora adaptado para la empresa Enfrigo.

El procedimiento persigue los objetivos siguientes:

Objetivo general: disponer de una herramienta para la gestión y mejora de la eficiencia energética en la empresa cuya utilización contribuya al cumplimiento de sus objetivos.

Objetivos específicos:

- Diagnosticar la situación actual de la eficiencia energética en la empresa
- Proyectar y planificar las acciones necesarias para corregir las desviaciones detectadas en el diagnóstico y su implantación en la empresa.
- Evaluar los resultados de la aplicación del proyecto de mejora.
- Lograr una mejora de la eficiencia energética en la empresa.

El procedimiento debe aplicarse por un grupo de especialistas seleccionados al respecto. Consta de cinco fases y 10 pasos que permiten por su estructuración en el contexto específico mejorar la eficiencia energética. A continuación se describen los mismos.

Fase I. INTRODUCCIÓN.

La fase de introducción tiene como objetivo principal la caracterización de la empresa.

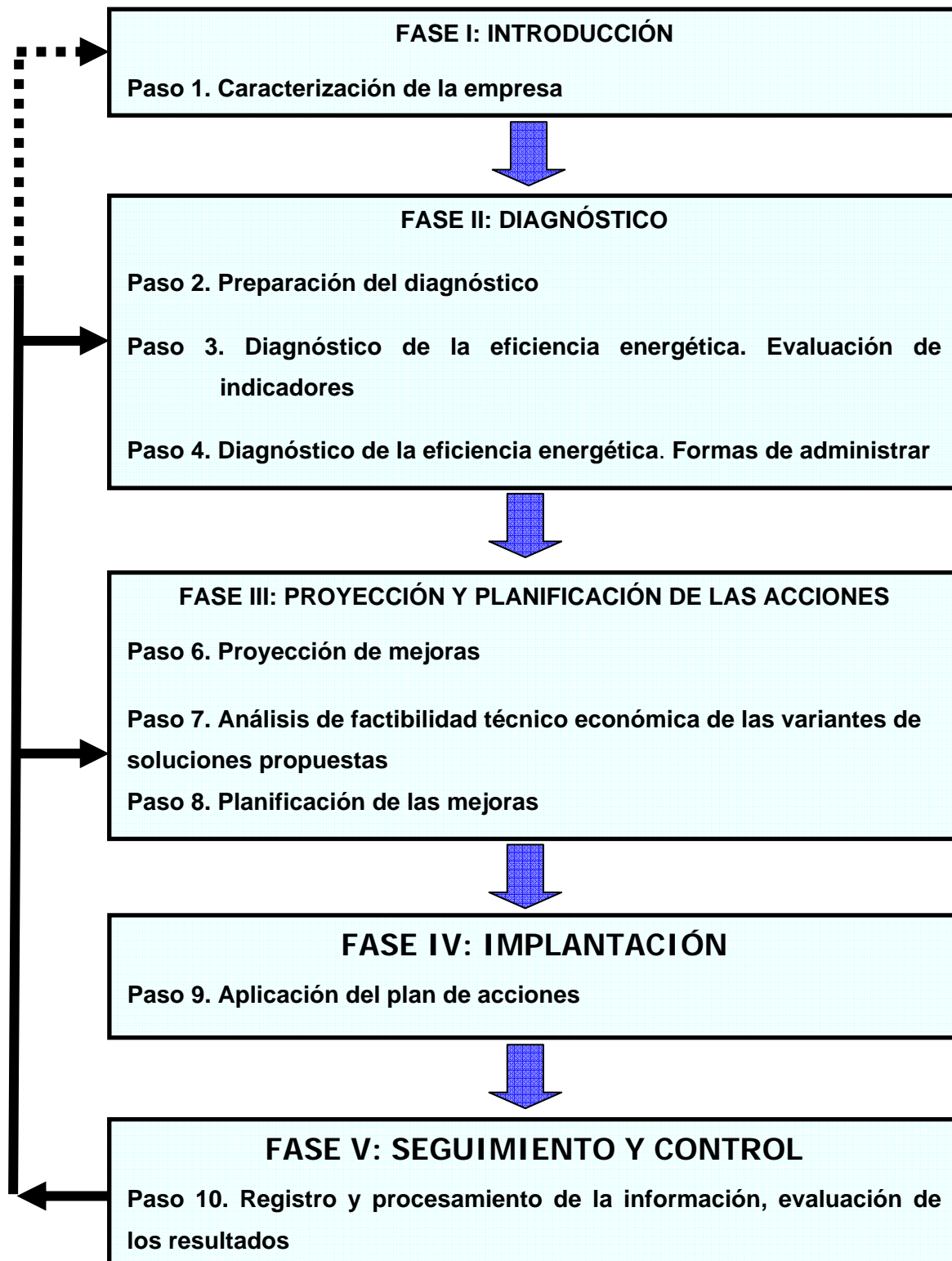


Figura 4. Procedimiento para la mejora de la eficiencia energética

Paso 1. Caracterización de la empresa.

En la caracterización de la empresa deben incluirse los elementos que definen la MISION, la VISION y un resumen de los datos de interés en el contexto de aplicación. En la tabla 1, se recogen otros datos necesarios de la caracterización de este tipo de empresa.

Tabla 1. Resumen de capacidades de frío de Enfrigo

Frigoríficos	Congelación			Refrigeración			Total		
	Cámaras	m ³	ton	Cámaras	m ³	ton	Cámaras	m ³	ton

Fase II. Diagnóstico del estado de la eficiencia energética.

Objetivo: realizar un diagnóstico que revele las insuficiencias del sistema y que provocan bajos niveles de eficiencia energética.

Paso 2. Preparación del diagnóstico.

Este paso tiene como objetivo determinar las acciones y necesidades que de ellas se deriven para desarrollar el diagnóstico. Para la preparación del diagnóstico se responden las interrogantes siguientes: ¿Qué técnicas emplear? ¿En qué tiempo y oportunidad? ¿Qué materiales son necesarios para el desarrollo de mismo? ¿Qué personal externo a SS.TT. participa y en qué momento? ¿Qué rol le corresponde a los participantes? y otros aspectos de interés que se deriven de la aplicación en el contexto específico. Además, perfilar los eventos de trabajo en grupo para el desarrollo del diagnóstico.

En este caso se recomienda utilizar una dinámica de trabajo en grupo con una técnica de las que pueden encontrarse en Pérez Campaña y otros (2000), donde participe la mayor cantidad posible de personal involucrado.

Paso 3. Diagnóstico de la eficiencia energética. Evaluación de indicadores.

En este paso se evalúan los indicadores generales de consumo de energía eléctrica (mWh) y el índice de consumo megawatt/horas por miles de metros cúbicos equivalentes (mWH/mm³Eq). En este último se hizo necesaria su validación. Para la validación del índice de consumo se realizó un estudio de su comportamiento en varios frigoríficos con la

participación de especialistas de la Universidad de Cienfuegos (Manuel y otros, 2008). Entre los frigoríficos escogidos para el monitoreo del índice de consumo estuvo el de Ciego de Ávila del cual se muestra en la Figura 5 la caracterización del indicador, como se aprecia en los datos asociados a la gráfica, el coeficiente de correlación R^2 presenta valores altos por lo que se puede afirmar que es válida la utilización de este índice de consumo para evaluar la eficiencia energética de un frigorífico.

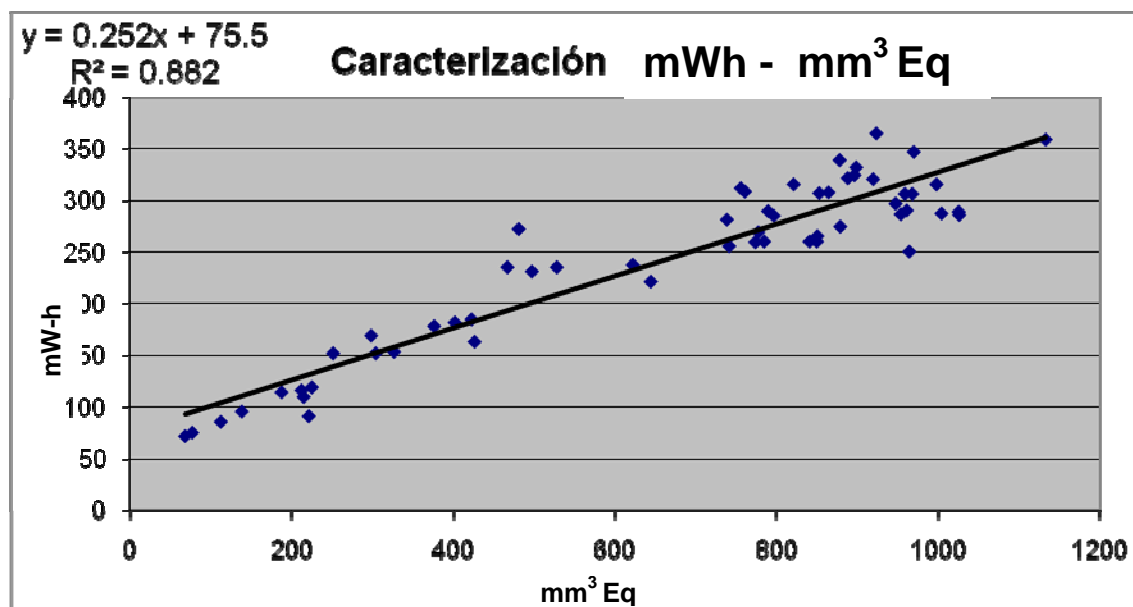


Figura 5. Caracterización de los consumos de energía eléctrica con los metros cúbicos equivalentes.

También entre otros resultados se evidenció el comportamiento del indicador respecto a la utilización de las capacidades de almacenaje en mm^3Eq (Figura 6), disminuyendo su valor a medida que se incrementa dicha utilización.

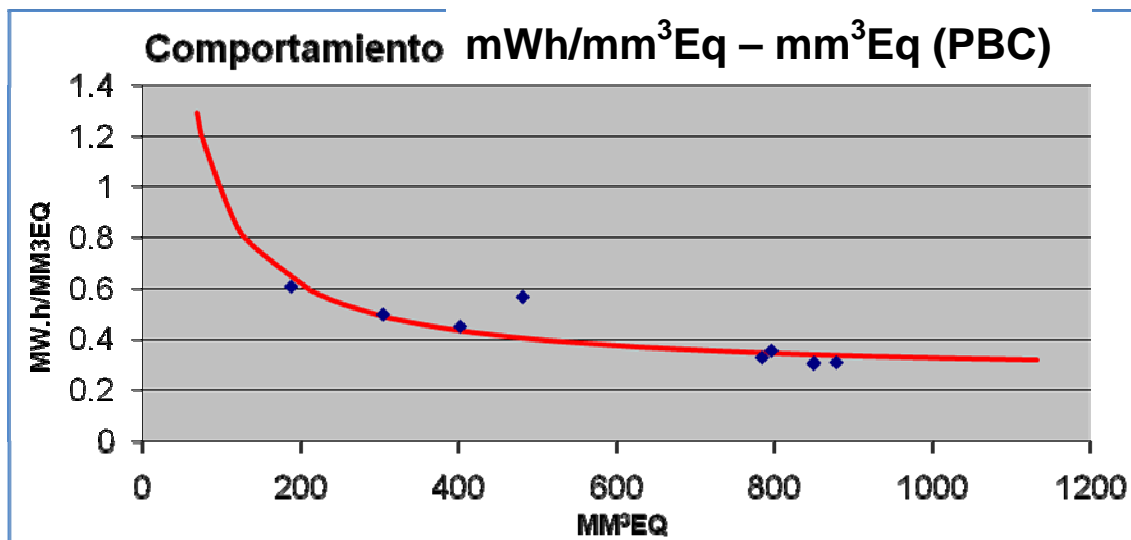


Figura 6. Comportamiento del índice de consumo de electricidad vs. Metros cúbicos equivalente utilizados.

Los resultados de la aplicación de esta herramienta, la evaluación de los indicadores (Ver Tabla 2), conjuntamente con un análisis de las causas en trabajo grupal, permiten definir el conjunto de insuficiencias, del análisis de las cuales se definen los problemas fundamentales que constituyen la base para la proyección de las mejoras en los frigoríficos para lograr mejores rendimientos energéticos. Se recomienda utilizar la tormenta de ideas en el trabajo grupal y la votación ponderada para la búsqueda de consenso (se pueden utilizar otras técnicas).

Tabla 2. Resultados de los indicadores en el diagnóstico Enfrigo

Año	mm ³ Eq	mWh	mWh/mm ³ Eq

Paso 4. Diagnóstico de la eficiencia energética. Formas de administrar

En el diagnóstico de la eficiencia energética se utilizó como herramienta fundamental la guía de supervisión energética del Ministerio de la Industria Básica (MINBAS, 2008). Esta consta de cuatro áreas fundamentales de supervisión:

1. Área estadística.

Aspectos a considerar:

- Contrato del servicio eléctrico: existencia, correspondencia de los datos y firmas, adecuada contratación de máxima demanda y la aplicación de la tarifa eléctrica.
- Cumplimiento de la demanda convenida: correspondencia de la demanda contratada con la demanda real tanto técnica como económicamente.
- Comportamiento del factor de potencia del servicio eléctrico: análisis técnico-económico, penalizaciones y bonificaciones, registro y control del mismo.
- Consumo de energía eléctrica: lecturas diarias, análisis de resultados periódicos, comprobación; de ser posible de instrumentos de medición, cumplimiento del plan y presupuesto.
- Los índices de consumo de portadores energéticos: existencia, objetividad y actualidad de los índices de consumo, utilización en la planificación, cumplimiento y estado comparativo con los valores deseados.
- Análisis de la intensidad energética: registro, seguimiento y control, se analizan los últimos 12 meses.
- Balance de los portadores energéticos: conocimiento de la estructura de consumo del centro, actualización y análisis de resultados por la administración.
- Programa energético: existencia, forma, contenido, calidad de las medidas y control del cumplimiento de éstas.

2. Área técnica.

Aspectos a considerar:

- Información básica general: estructura de consumidores eléctricos, diagrama monolineal de los sistemas eléctricos y de otros sistemas energéticos, estudios de acomodo de carga, plan de regulación de la demanda.
- Trabajo de supervisión en las instalaciones propias del centro: conexiones a tierra, protecciones térmicas, de corto circuito, mangueras, conectores y tuberías, cables, barras y aisladores, canales y bandejas, bloques de conexión, dispositivos eléctricos, de seguridad, transformadores, señalización, etc.
- Verificación del completamiento y del funcionamiento de los instrumentos de medición: existencia de todos los instrumentos de medición requeridos en los equipos, pizarras y sistemas en general, estado técnico y certificación.
- Sistemas de iluminación: seccionalización de circuitos, empleo de iluminación artificial, utilización de luz natural.
- Disponibilidad de grupos electrógenos de emergencia (GEE): estado técnico, personal calificado para la operación, depósitos de combustible.
- Sistemas de refrigeración y climatización: compresores, transmisión del movimiento, anclaje y nivelación, nivel de vibraciones, hermeticidad, estado técnico de las válvulas de seguridad y de aspiración; evaporadores y condensadores, hermeticidad, aislamiento y estado técnico de las válvulas de expansión.
- Sistemas de producción de aire comprimido o de vacío: compresores de aire comprimido y bombas de creación de vacío, transmisión del movimiento, anclaje y nivelación, temperatura de trabajo, estado técnico de los flappers, hermeticidad, estado técnico de las válvulas de seguridad, funcionamiento del sistema de enfriamiento, toma de aire, radiadores y ventiladores, válvulas, tuberías y accesorios, instrumentación, registro primario de operaciones, redes neumáticas, balance de carga y capacidad del sistema.

- Sistema de producción y distribución de vapor: calderas, sistemas de bombeo, conducción y almacenaje de fluidos, sistema de calentamiento, precalentamiento, expulsión de gases, etc., planta de tratamiento de agua, redes de vapor y condensado, sistemas de enfriamiento, bombas, fugas, dispositivos de control de nivel, presión, temperatura, etc.
- Sistema de izaje, transporte vertical, esferas transportadoras y equipos similares: motores y sistemas eléctricos, troles, aisladores, conductores, etc., señales sonoras y luminosas, transmisión del movimiento.

3. Dirección administrativa.

Aspectos a considerar:

- Existencia del personal encargado del control de la energía.
- Comprobación de los análisis energéticos en los consejos de dirección.
- Verificación de las violaciones administrativas en el uso racional de la energía y la aplicación de medidas de control y racionalización.
- Aplicación de métodos de estimulación por uso racional de los portadores energéticos.
- Aplicación de medidas disciplinarias de índole individual y (o) colectivas.

4. Organizaciones de base.

Aspectos a considerar:

- Valoración de la participación de las organizaciones de base en los análisis energéticos del centro.
- Comprobación de la aplicación práctica de trabajos de la ANIR, Fórum, etc.
- Verificación del trabajo de divulgación de temas energéticos con los trabajadores del centro, escuelas y personal en general.

Las instrucciones de aplicación de la guía contienen la definición de los aspectos a considerar en cada uno de ellos y los criterios de evaluación con su tratamiento, los rangos y

procedimientos para cada resumen y evaluación final, emitida por consenso de los expertos participantes en el diagnóstico.

Paso 5. Análisis y presentación de los resultados del diagnóstico.

En el trabajo grupal se presenta la información de los elementos más relevantes en cartulina y otros medios que permitan su visualización permanente por todos los participantes. Se presenta: la caracterización, el resultado de la evaluación de los indicadores de gestión y un resumen de los resultados de la aplicación de la guía de evaluación y otras técnicas e instrumentos. Se realiza un análisis general de los resultados para definir los problemas.

Para la definición de los problemas se procederá de la manera siguiente:

- Hacer un listado de problemas potenciales, utilizando cualquiera de las técnicas de generación de ideas (Se recomienda la tormenta de ideas).
- Se revisa el listado de problemas, se combinan o integran, se eliminan y se clasifican según proceda. Utilizando la técnica de reducción de listado, se obtiene un número manejable de problemas (una docena aproximadamente).
- Se realiza un análisis causal de los problemas definidos, enfatizando en la integración de los problemas. Se recomienda el análisis causa-efecto de Ishikawa.

Es importante señalar que se pueden usar otras técnicas que proporcionen resultados similares o la combinación de varias de ellas. El resultado esperado es un listado simplificado de los problemas que podrán ser seleccionados para darles solución.

Fase III. Proyección y planificación de las mejoras.

Objetivo: elaborar un proyecto de mejora para dar solución a los problemas definidos.

Paso 6. Proyección de las mejoras.

Procediendo de manera similar, se presenta el listado de problemas preferiblemente por orden de prioridad, resultado de la fase anterior, de manera que se facilite su visualización por todos los participantes. Utilizando la tormenta de ideas (o cualquier otra técnica con similares propósitos) se proponen las posibles soluciones a los problemas, elaborando un listado. A continuación, se revisa el listado de soluciones, se combinan o integran, se eliminan y se clasifican según proceda. Utilizando la técnica de reducción de listado, se

obtiene un número manejable de soluciones. Se debe dar prioridad a las acciones que integren, de ser posible, la respuesta a la mayor cantidad de problemas o al menos, parcialmente contribuya a la solución de otros. Como actividad final de la dinámica grupal, se distribuyen las tareas relacionadas con la obtención fundamentada de los proyectos de mejora y se definen las actividades fundamentales de la próxima dinámica grupal y la participación en su desarrollo.

Para las estrategias del sistema de mantenimiento se utiliza el procedimiento general definido por De la Paz Martínez (2006) y perfeccionado por Torres Rodríguez (2009). Siguiendo dicho procedimiento, se diseña el sistema de mantenimiento de la nueva tecnología instalada y se perfecciona el sistema de mantenimiento de la tecnología que no ha sido sustituida.

Paso 7. Análisis de factibilidad técnico económica de las variantes propuestas.

Se exponen por el grupo de trabajo las soluciones propuestas y los elementos técnico-económicos que las justifican, se debaten y se procede a su puesta en práctica. Para su selección se utiliza una hoja de trabajo (Pérez Campaña y otros, 2000) que propone la evaluación de las variables siguientes:

- **Control:** la medida en que la puesta en práctica de la solución se encuentra bajo el control del grupo.
- **Conveniencia:** grado en que la solución satisface los requerimientos de la solución del problema.
- **Recursos:** la medida en que el grupo dispone de los recursos requeridos para poner en práctica la solución (dinero, personas y otros).
- **Tiempo:** juicio acerca del tiempo relativo que demorará resolver el problema.
- **Reembolso:** compensación esperada, producto de la puesta en práctica de la solución (análisis costo- beneficio).
- **Aceptabilidad:** grado en que los implicados en la solución aceptarán los cambios a realizar.

Las instrucciones para la aplicación son tomadas de las planteadas por Torres Rodríguez (2009).

Paso 8. Planificación de las mejoras.

De la correcta planificación de las acciones a realizar para implantar las soluciones seleccionadas, depende el éxito de su ejecución, por ello es importante la utilización de instrumentos y técnicas que ayuden al grupo a:

- Especificar y aclarar las tareas que se deben cumplimentar.
- Ordenar secuencialmente cómo se deben realizar las tareas.
- Evaluar las necesidades para cada tarea.
 - ¿A quién se necesita para hacer algo?
 - ¿Qué tiempo demorará?
- Establecer el programa de cumplimiento de cada tarea.
- Especificar cómo van a ser controlados y medidos los resultados.

La planificación debe lograr una adecuada integración que satisfaga en la mayor medida posible las necesidades tecnológicas y ambientales, a la vez que satisface las necesidades del cliente tanto interno como externo. También debe asegurar la participación del personal. De la calidad de la planificación depende en gran medida los resultados que se obtengan en la gestión. En la planificación se recomienda utilizar técnicas tales como el diagrama de Gantt y el diagrama de Pert.

Fase IV. Implantación de las mejoras.

Paso 9. Aplicación del plan de acciones.

Una vez elaborada la planificación de las acciones de proyecto de mejora que resuelve cada problema y de acuerdo con la disponibilidad real de los recursos materiales, financieros y humanos necesarios, se lleva a cabo lo planificado, según el programa de ejecución previsto. Durante el desarrollo de esta fase, juega un papel significativo la organización operativa para el mejor aprovechamiento de los recursos disponibles diarios para atenuar las posibles desviaciones del programa de ejecución. En esta fase se debe velar por que se desarrollen

las acciones de comunicación y (o) estimulación que sean pertinentes para complementar el compromiso del grupo de trabajo en su aplicación consciente. En caso de servicios contratados se realizan las acciones necesarias para que el contrato garantice, por sí mismo la ejecución ajustada a las especificaciones del proyecto de mejora.

Fase V. Seguimiento y control de la aplicación de las mejoras.

Paso 10. Seguimiento de los resultados, evaluación del impacto.

Para el seguimiento de los resultados de la mejora se toman como referencia fundamentales, los indicadores generales de eficiencia definidos en el diagnóstico, teniendo en consideración los resultados generales de la empresa y los particulares de cada establecimiento para obtener un mejor acercamiento a los impactos de la misma.

2.2. Aplicación del procedimiento a la empresa de Enfrigo.

Resumen de los resultados de la aplicación del procedimiento.

Fase I. INTRODUCCIÓN

Paso 1. Caracterización de la empresa Enfrigo

La Empresa Nacional Frigorífico perteneciente al Ministerio del Comercio Interior creada en 1964 tiene como objeto social las prestaciones de servicios en cámaras de conservación, refrigeración y congelación. Esta organización tiene un carácter estratégico para la economía del país, al asegurar el almacenamiento de los productos que requieren de su conservación en frío, tanto en la paz como en estado de guerra.

ENFRIGO: Es una organización económica estatal perteneciente al Ministerio del Comercio Interior, dedicada:

- Prestar servicios de conservación, refrigeración, congelación y túnel de congelación.
- Garantizar el empaque de granos que en coordinación con la Dirección de Planes Especiales del Ministerio, que se entregan a los niños de bajo peso.

MISIÓN

Satisfacer las necesidades de almacenaje en refrigeración industrial, de productos de la canasta básica y otros productos de prioridades para la población, así como la conservación de productos de la reserva y semillas biológicas, con calidad, rapidez y eficiencia; autofinanciados con nuestros propios resultados.

VISIÓN

- Somos líderes en el almacenamiento de cámaras de refrigeración industrial de productos alimenticios.
- Contamos con parámetros de eficiencia, en las instalaciones frigoríficas y con la eficacia que nos permite ofertar el servicio que nuestros clientes demandan.
- Contamos con directivos y trabajadores preparados y altamente calificados.
- Somos una empresa que aspira a aplicar el Perfeccionamiento Empresarial, contando con una estimulación salarial acorde a los principios de elevar la productividad, calidad y eficiencia.
- Logramos una óptima atención al hombre.
- Desarrollamos la informática en todos los frentes de trabajo.

La Empresa Nacional Frigorífico Enfrigo, cuenta en la actualidad con 31 Frigoríficos en todo el país con una capacidad de 276 444 toneladas en 587 cámaras; de ellas, 83 son de congelación y 504 de refrigeración, representando el 64 % de la capacidad de frío del país, con un promedio de 34 años de explotación, con una tecnología obsoleta y en mal estado técnico, incluida su construcción civil. En el Anexo 2 se muestra en detalles la red de frigoríficos de Enfrigo, un resumen de éste se muestra en la Tabla 3

Tabla 3. Resumen de capacidades de frío de Enfrigo.

Frigoríficos	Congelación			Refrigeración			Total		
	Cámaras	m ³	ton	Cámaras	m ³	ton	Cámaras	m ³	ton
31	83	119762	44779	504	635289	231665	587	755051	276444

Evolución de la tecnología en los frigoríficos.

A principio de los años 90 los frigoríficos de Enfrigo, construidos bajo los conceptos del antiguo Comité de Ayuda Mutua Económica (CAME), donde la eficiencia energética era un factor secundario y la tecnología se había quedado detenida en el tiempo, estuvieron a punto de colapsar ya que la totalidad de los compresores, intercambiadores de calor y otros elementos auxiliares utilizados en la explotación eran de esta procedencia y los repuestos dejaron de fabricarse.

En el año 1998 antes de comenzar la modernización de los equipos tecnológicos se tenía el siguiente equipamiento:

Compresores	229
Búlgaro	106
Rusos	56
Rumanos	27
Alemanes	23
Daneses	2
Chinos	15
Condensadores de tubo y carcasa	114
Torre de enfriamiento	57
Evaporadores	909
Bombas de agua	190
Bombas de amoníaco	126

La diversidad y obsolescencia de la tecnología instalada daba como resultado un consumo de energía de Enfrigo en el año 1998 de 49 039,3 mWh.

En el período de 1998-2002 se montaron 40 compresores Reciprocantes marca MYCOM con microprocesadores, lo que constituyó en ese momento un mejoramiento en la eficiencia energética y permitió concluir el año 2002 con un consumo de energía igual a 46 159.4 mWh, para una diferencia en los consumos de 2 879.9 mWh al año.

En el período 2003–2006 se instalaron 6 compresores de tornillo MYCOM y 4 condensadores evaporativos EVAPCO, incrementándose la eficiencia energética, donde los compresores de tornillo demuestran mayores niveles de eficiencia, esto dio la posibilidad de terminar en el año 2006 con un consumo de energía igual a 45 593.7 mWh, representando una reducción del consumo respecto al 2002 de 565.7 mWh. Estas mejoras no agotan aún las reservas en cambios tecnológicos y organizativos de la empresa por lo que en el año 2007 se procede a realizar el diagnóstico que se muestra a continuación.

Fase II. Diagnóstico del estado de la eficiencia energética.

Paso 2. Preparación del diagnóstico.

En este paso se definieron las tareas fundamentales del diagnóstico, el cronograma y las herramientas para aplicarlo, así como otros aspectos organizativos.

Paso 3. Diagnóstico de la eficiencia energética. Evaluación de indicadores.

Los resultados de la evaluación de los indicadores (Ver Tabla 4), conjuntamente con un análisis de las causas, utilizando la representación de la espina de pescado de Ishikawa, en un trabajo grupal (Ver figura 7), permitieron definir un conjunto de insuficiencias y sobre el análisis de las mismas se definen los problemas fundamentales que constituyen la base para la proyección de las mejoras en los frigoríficos en aras de lograr mejores rendimientos energéticos.

Tabla 4. Resultados de los indicadores en el diagnóstico Enfrigo.

Año	mm ³ Eq	mWh	mWh/mm ³ Eq
2007	37948,567	13572,877	0,3577

Paso 4. Diagnóstico de la eficiencia energética. Formas de administrar.

En el diagnóstico de la eficiencia energética se utilizó como herramienta fundamental la guía de supervisión energética del Ministerio de la Industria Básica (MINBAS, 2008).

Paso 5. Análisis y presentación de los resultados del diagnóstico.

Algunas insuficiencias detectadas en el diagnóstico.

Resumen de las principales deficiencias de la empresa:

- Existen (203) Compresores con una diversidad de fabricantes, de ellos: de fabricación rumana son (17), rusos (43), búlgaros (79), alemanes (11), daneses (2), chinos (8) y japoneses (43).

(De los compresores rumanos, rusos, búlgaros, alemanes y de daneses no existen piezas de repuesto en Cuba).

- De las 619 puertas de cámaras; 201 se encontraron en mal estado, para un 32 %.
- De los 86 km de tuberías; 20 de ellos se encontraron en mal estado técnico, para un 23%
- De los 465 000 m² de aislamiento; 96 000 m² se encontraron en mal estado, para un 20%.
- De las 184 Torres de enfriamiento y Condensadores; 103 se encontraron en mal estado, para un 56%.
- Obsolescencia de las bombas de agua (190 Bombas de agua, la mayoría en mal estado técnico y sin piezas de repuesto).
- Las bombas de amoniaco son de varios fabricantes, la mayoría sin garantía de piezas de repuesto (126 Bombas de Amoníaco).

- En el sistema eléctrico se poseen disímiles pizarras, siendo en su mayoría obsoletas; dificultad con el alumbrado exterior e interior, en el sistema de pararrayos y otros sistemas.
- De los 135 Montacargas eléctricos, el 82 % sobrepasan la vida útil con más de 10 años de explotación y una disponibilidad técnica de 61 %.
- De 80 Montacargas de Combustión, el 86% sobrepasan la vida útil con más de 10 años de explotación y una disponibilidad técnica de 55 %.
- De los 166 equipos de transporte externo; 105 tienen más de 15 años de explotación para el 63%, con una disponibilidad técnica del 61%.

Otras insuficiencias detectadas

A continuación se muestran un grupo de deficiencias en la gestión de la energía que resumen las de mayor frecuencia de incidencia en los diferentes frigoríficos de la empresa.

- No se ha realizado el acomodo de carga en algunas unidades frigoríficas.
- No existen diagramas o circuitos monoliniales.
- Bajo factor de potencias.
- El personal para la operación del los grupos electrógenos y la operación en general no está debidamente preparado.
- Pobre funcionamiento de las comisiones de ahorro energético.
- Deterioro de las redes eléctricas (conductores, aisladores).
- En algunos frigoríficos no existe la estructura para la gestión energética.
- Deficiencias con la instrumentación para la medición de los portadores energéticos.
- No están totalmente definidas las estructuras de los portadores energéticos.
- Deficiencias en la planificación de la operación de las cámaras frías.
- Deficiencias en el mantenimiento de los condensadores.

- Mal estado técnico de las protecciones eléctricas (breaker, interruptores, etc.)
- No existen el plan de regulación de la demanda máxima
- No existen el plan de regulación de la demanda máxima

Listado de problemas

Sobre la base de la información de los resultados del diagnóstico con la aplicación de la guía de inspección y supervisión, la evaluación de los indicadores fundamentales de energía y la valoración por los expertos participantes en el diagnóstico de las causas fundamentales que inciden en la eficiencia energética de los frigoríficos, se definieron como problemas fundamentales los siguientes:

1. Obsolescencia de la tecnología en gran parte de la infraestructura de los frigoríficos, tiene varios años de explotación.
2. Carencia de un sistema de mantenimiento adecuado a las condiciones de explotación actuales.
3. Pérdidas por el aislamiento de paredes, techos y tuberías.
4. Pérdidas por compresores de amoníaco de baja eficiencia y con desgaste físico.
5. Pérdidas por baja eficiencia de cortinas de aire.
6. Baja eficiencia en los condensadores convencionales.
7. Pérdidas por almacenaje de productos a bajas temperaturas.

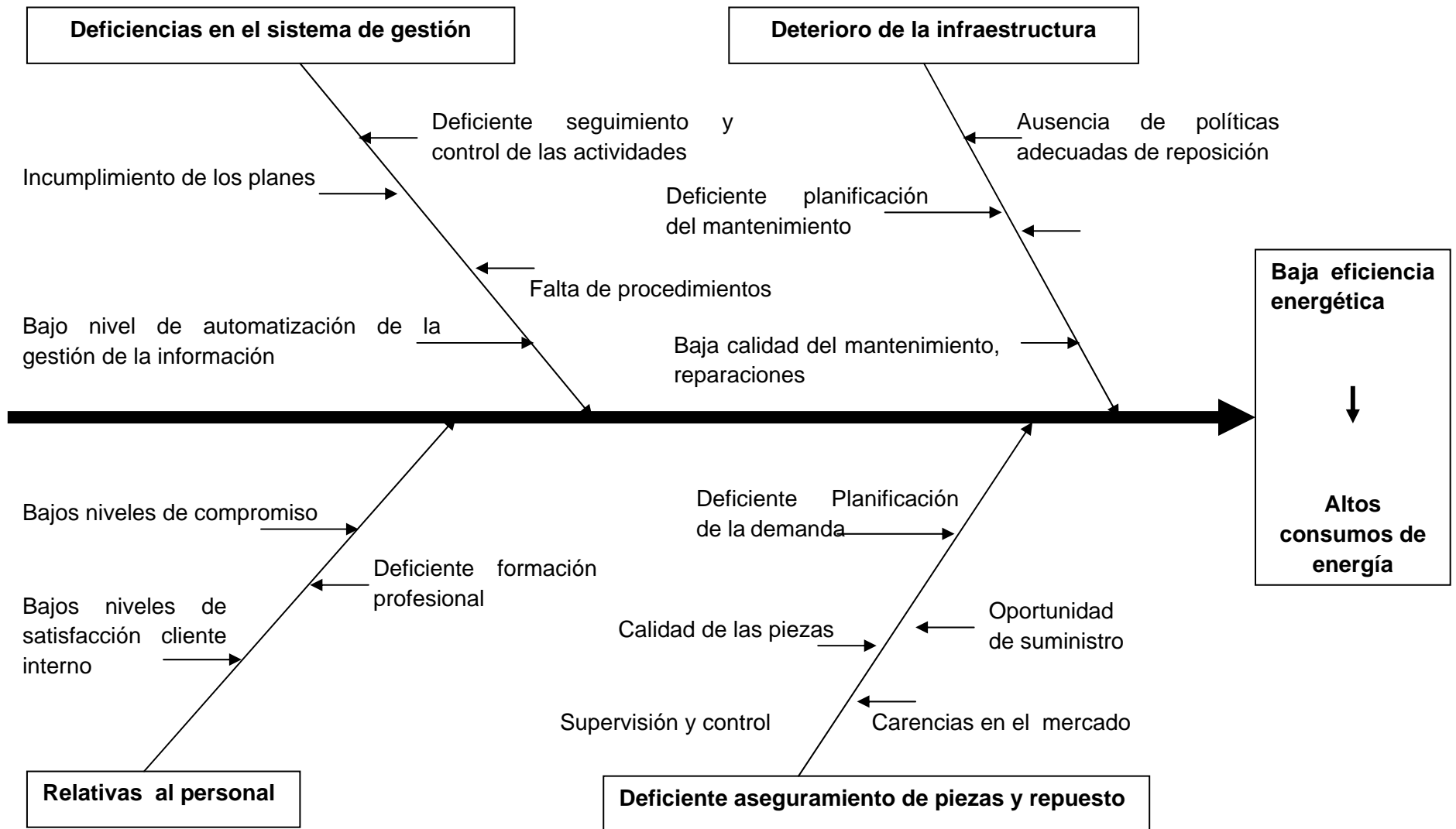


Figura 7. Análisis causa efecto de problemática fundamental definida en el diagnóstico

8. Deterioro del sistema de drenajes.
9. Deficiencias en el sistema de control de motores de cámaras.
10. Carencia de personal capacitado para la operación de los frigoríficos.

Fase III. Proyección y planificación de las mejoras.

Paso 6. Proyección de las mejoras.

Sustentado en el análisis de los problemas definidos, los recursos disponibles y las políticas definidas por el país al respecto, se proyectaron un grupo de mejoras con el objetivo de incrementar la eficiencia energética de los frigoríficos de Enfrigo.

El proyecto de mejora concentra sus acciones en tres direcciones fundamentales:

1. El mejoramiento tecnológico, que contempla la sustitución o reposición de equipos, sistemas y la rehabilitación de redes e instalaciones.
2. La proyección de un sistema de capacitación y actualización del personal para lograr mejores actitudes y comportamiento en la explotación y mantenimiento de la tecnología.
3. El perfeccionamiento de los sistemas de mantenimiento de la tecnología.

El proyecto de mejora comprende las decisiones siguientes:

1. Sustitución de compresores con más de 30 años de explotación.
2. Sustitución de aislamiento de tuberías y de cámaras.
3. Sustitución de bombas de agua y de amoníaco.
4. Sustitución de puertas en mal estado.
5. Sustitución y reparación del transporte en general y montacargas.
6. Sustitución y reparación de pizarras eléctricas.
7. Sustitución de condensadores tradicionales por condensadores evaporativos.
8. Propuesta de un sistema de capacitación del personal en coordinación con la

Universidades de los territorios implicados, según las necesidades de cada frigorífico.

9. Perfeccionamiento del sistema de mantenimiento de equipos sistemas e instalaciones.

La evaluación de las propuestas para seleccionar las soluciones propuestas, según las variables definidas: control, conveniencia, recursos, tiempo, reembolso y aceptabilidad, en trabajo grupal con los expertos participantes en el desarrollo de la investigación, arrojó los resultados de los cuales se muestra un resumen en la tabla 5. Un análisis de esta evaluación muestra que aunque por lo general, las variables control, recursos y tiempo presentan bajas puntuaciones, la conveniencia, el reembolso y la aceptabilidad de las soluciones presentan altas puntuaciones, dando a las soluciones puntuaciones similares solo con destaque para la solución número 9.

Tabla 5. Resultados de la selección de soluciones a implantar

Solución No	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Puntuación	21	21	21	21	21	21	21	21	23

En la aplicación de las soluciones se enfatiza en las soluciones 1, 2, 3, 4 y 7, que se enmarcan en la primera dirección de las definidas como fundamentales anteriormente, es decir, la tecnología, donde se realizan las propuestas de sustitución de éstas por nuevas de mayor eficiencia.

De igual manera se profundiza en la solución 8, enmarcada en la dirección número dos y que comprende un programa de capacitación a partir del diagnóstico de necesidades en función de los resultados del diagnóstico general de eficiencia energética realizado. Los contenidos fundamentales de este programa de formación técnica, que responde a la estrategia general de perfeccionamiento de la gestión de la empresa, se muestran en el (Anexo 3).

Para la solución número 9, de la dirección fundamental tres se utilizó el procedimiento general para el mantenimiento definido por De la Paz Martínez (2006) y perfeccionado por Torres Rodríguez (2009) y sus elementos fundamentales se muestran en el (Anexo 4).

Siguiendo dicho procedimiento, se diseña el sistema de mantenimiento de la nueva tecnología instalada y se perfecciona el sistema de mantenimiento de la tecnología que no ha sido sustituida. Una muestra de los resultados de la aplicación del procedimiento se muestra en el (Anexo 5).

Paso 7. Análisis de factibilidad técnico económica de las variantes propuestas.

Sustitución de compresores

La sustitución de los compresores se lleva a cabo a partir de la adquisición de compresores de tornillos, los cuales se han difundido con gran rapidez sustituyendo los Reciprocantes, entre otros aspectos en que su desarrollo ha permitido introducir tecnologías de avanzada abaratando sus costos de adquisición y explotación. El compresor de tornillo permite regular su capacidad ajustándose a la demanda real por lo que puede trabajar por debajo del 100% provocando ahorros de energía eléctrica, constituyendo esta una de sus principales ventajas. Otras ventajas de este compresor son las siguientes:

- Mayor eficiencia volumétrica, por no existir espacio muerto no hay caída de presión, las fases de succión y descargas separadas, por lo que no hay transferencia de calor entre succión y descarga.
- La temperatura de descarga no exceden los 100 °C, haciendo más eficiente el ciclo termodinámico de refrigeración.
- El flujo de refrigerante es continuo y por tanto produce pocas vibraciones, por lo que el costo de la construcción de las bases disminuye.
- Los costos de mantenimientos son mínimos, ya que solamente están sometidos a desgaste, los rodamientos y la utilización del aceite y los filtros cuando cubren las horas de trabajo.
- Por su alta eficiencia volumétrica y buen comportamiento para altas relaciones de compresión, permite la sustitución de dos compresores reciprocantes para las 2 etapas (alta y baja); por un compresor de tornillo de una sola etapa.
- Los compresores de tornillos no son afectados por los golpes de líquidos, esto implica mayor seguridad en la explotación y fundamentalmente para las vidas humanas; que

es lo contrario a lo que ocurre en los compresores reciprocantes que causa roturas, en ocasiones escape de amoniaco, por tanto interrupción en el funcionamiento del sistema, gastos de reparación hasta posibles pérdidas de productos almacenados en los frigoríficos sino se cuenta con compresor sustituto

- Como posee grandes desplazamientos volumétricos permite con un solo compresor llevarse toda la carga de una etapa en toda la instalación; permitiendo tener un solo compresor en la etapa de baja y uno en la etapa de alta, y tener un compresor de respaldo, con doble propósito para la etapa de baja y de alta, cuando la carga lo requiera, por mantenimiento o rotura de un compresor.
- Otra de las ventajas y no menos importante es que el compresor posee un microprocesador que permite controlar digitalmente y de forma automática los siguientes parámetros: presiones de succión, descarga, aceite del compresor y de los filtros que tiene incorporados; temperatura de succión, descarga y aceite; Set point de alarma y falla del compresor; control del consumo de corriente del motor eléctrico, de acuerdo al régimen de trabajo del compresor; registro automático en la pantalla del estado de la operación normal del equipo cada 15 minutos (guardando los 90 últimos registros); registro automático de los estados de alarma y fallas; registro e indicación del tiempo de operación del equipo y consumo de energía eléctrica diaria; modo de operación manual, local automático y remoto automático; puerto de salida para impresora local a través de simple interconexión y visualización instantánea de los parámetros de operación en tiempo real.

Un resumen del análisis comparativo de la factibilidad de sustitución de los compresores de tornillos se muestra en la Tabla 6. Ver información detallada en el (Anexo 6).

Como se puede observar en la Tabla 6, el cambio de compresores de tornillo que constituye una tecnología más avanzada provoca un ahorro en la potencia instalada de 1730.00 kW, lo que significaría suponiendo 8 horas de trabajo diarias durante los 12 meses del año un total de 4 982 400.00 kWh ahorrados al año solo por este concepto.

Tabla 6. Resumen de la valoración de la sustitución de compresores de tornillo.

EST.	COMPRESORES INSTALADOS				PROPUESTA DE COMPRESORES				
	CAN	CAP. Total (KW)	POT. Total (KW)	COP	CAN	CAP. Total (KW)	POT. Total (KW)	COP	AHORRO POTENCIA INSTALADA (KW)
TOTAL	80	24761.71	8480	2.92	30	26163.19	6750	3.87	1730

Cambio de condensadores evaporativos

Las instalaciones frigoríficas industriales entre los equipos y aparatos que le son imprescindibles para su funcionamiento poseen los condensadores y torres de enfriamiento; que su función es eliminar el calor extraído en las cámaras frigoríficas donde son almacenados los productos perecederos, más el calor propio del trabajo del compresor.

Los condensadores tradicionales son de tubo y carcasa verticales y para enfriar el agua que se calienta en este equipo al extraerle el calor al amoniaco, se hace necesario incorporar una torre de enfriamiento. Para realizar todas estas funciones se necesitan bombas de agua que en este caso los volúmenes oscilan entre 90 m³/h hasta 720 m³/h. Cuando la torre está a nivel del terreno se utiliza doble bombeo por lo que se duplican, en estos casos las bombas y por tanto aumenta el consumo energético.

Los condensadores evaporativos son equipos muy compactos y hacen la doble función de condensadores y torres utilizando el bombeo del agua desde su propia piscina hasta los *spray* en la parte superior y a través del ventilador introducen aire a contracorriente que hace mucho más eficiente el intercambio de calor. Estos equipos utilizan bombas de agua y ventiladores muy pequeños en comparación con los tradicionales lo que trae por consecuencia ahorro de energía. La técnica actual de su uso es instalarlos por parejas con la suma total de la capacidad necesaria de la instalación para cuando la instalación este bajo carga o el clima sea favorable, se utilizaría un solo condensador evaporativo y así se ahorraría la energía que este consume, aprovechando este momento para ejecutar mantenimientos o reparaciones; siendo otra de sus ventajas adicionales. Un resumen del

análisis comparativo se muestra en la Tabla 7. (Ver detalles Anexo 7)

Tabla 7. Análisis comparativo de cambio a condensadores evaporativos.

Estab.	POT Bomba De agua (KW)	POT Torre Enfriam (KW)	POT. Total (KW)	Mod Chino	Capac. (KW)	Model	Capacidad (KW)	Potencia Condensador Evaporativo (KW)	Diferencia (KW)
TOTAL	1 416	352	1 768					504.8	1263.2

En el análisis comparativo de la factibilidad del cambio de los condensadores evaporativos se muestra en la Tabla 7, donde se puede observar que la diferencia total de potencia consumida con el cambio a condensadores evaporativos propuestos en los diferentes frigoríficos es de 1 263.2 kW, considerando solo 8 horas de trabajo 3 638 016.00 kWh al año, un valor significativo en la gestión energética de Enfrigo.

Rehabilitación del aislamiento de edificaciones civiles, tuberías y recipientes de las instalaciones frigoríficas y reposición de equipos y puertas en Enfrigo.

Los dispositivos de aislamiento de estas instalaciones tienen tiempo de explotación superior a 20 años, lo que unido a la agresividad del clima cubano, ha provocado un deterioro considerable de los mismos, esto se manifiesta en sobreconsumos de energía durante su explotación.

Esta rehabilitación proporciona entre otras las ventajas siguientes:

- Disminución de los consumos de energía e incremento de la eficiencia energética de la instalación.
- Aumento del grado de seguridad en explotación de los frigoríficos (Peligro químico).
- Aumento de la calidad en la conservación de los productos, así como su período.

Un resumen del análisis comparativo de la factibilidad de la rehabilitación y sustitución de equipos en general se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Estimado de ahorro del proyecto de mejora.

	Estimado pérdidas anuales en mWh	Valor del estimado en MPCUC	Valor estimado de la inversión en MPCUC
Rehabilitación de aislamientos.	8000.00	0.096	1,5
Reposición de equipos y puertas.	54000.00	0.648	2,111

Con estas mejoras se permite reducir el número de compresores de 229 a 160 lo que también constituye un ahorro considerable no solo por el hecho de disminuir en 6.066 MW la potencia instalada sino también un ahorro de tiempo, piezas de repuestos y materiales auxiliares en el mantenimiento por trabajar con 69 compresores menos.

Las medidas para la sustitución en general: cambio de todos los compresores con más de 30 años de explotación, sustitución de aislamiento de tuberías y cámaras, bombas de agua, bombas de amoniaco, puertas, sustitución y reparación del transporte, montacargas y pizarras eléctricas; necesita un financiamiento de 21,6 millones de CUC para su ejecución total en un plazo de 5 años, provocando un ahorro del 39% de la energía eléctrica que se consume en la actualidad, esto equivale a 19,5 millones de kWh por un monto de 2,34 millones de CUC anual, donde además se mejora considerablemente en la seguridad de las instalaciones eliminando o controlando riesgos para las vidas humanas (por ser objetivos de riesgos a desastres químicos) y la calidad del servicio en todas las instalaciones frigoríficas, cumpliendo con todas las normas establecidas desde el punto de vista tecnológico, de protección e higiene y de los parámetros de conservación de los productos perecederos.

Para la implantación de la mejora número 8 (que se corresponde con el problema número 10, formación del personal) y la número 9 (que se corresponde con el problema número 2, sistema de mantenimiento), se hizo necesario el diseño, desarrollo y aplicación del manual de operaciones de la dirección técnica de la empresa que recoge además otros elementos de la explotación de los frigoríficos relacionados entre otros con la seguridad. El índice del manual que relaciona los contenidos de éste se muestra en el (Anexo 8).

Paso 8. Planificación de las mejoras.

En la planificación de las mejoras, teniendo en cuenta la disponibilidad de recursos financieros y la complejidad de las operaciones de ejecución de las sustituciones se elaboró un programa general (Anexo 9) para su cumplimiento que luego se desglosó en subprogramas específicos por años y sus planes de ejecución. El seguimiento de la ejecución del programa constituye uno de los elementos fundamentales de control.

Fase IV. Implantación de las mejoras.

Paso 9. Aplicación del plan de acciones.

En este paso se toman todas las medidas organizativas necesarias para la aplicación del plan de mejoras según el programa establecido a estos efectos. Es una etapa donde se debe prestar atención fundamental a los recursos humanos que participan y la coordinación con entidades suministradoras de tecnologías y materiales para la realización del plan.

Fase V. Seguimiento y control de la aplicación de las mejoras.

Paso 10. Seguimiento de los resultados, evaluación del impacto.

Para el seguimiento de los resultados de la mejora se toman como referencia fundamentales los indicadores generales de eficiencia definidos en el diagnóstico, tomando en consideración los resultados generales de la empresa y los particulares de cada establecimiento para obtener un mejor acercamiento a los impactos de la misma. Una evaluación de estos indicadores se muestra en Figura 8:

Como se puede observar, la diferencia del consumo del año 2008 respecto al 2009 de 1204,8 mWh, lo que significa un impacto económico de unos 144 576.00 CUC; de igual manera se observa un mejor aprovechamiento de la energía con 0.0089 mWh menos por metro cúbico equivalente ocupado.

Estos valores unidos a otros beneficios como es, elevar la disponibilidad de las capacidades frigorífica en un 93% en el año 2007 y acercar este valor al 100% en el 2009, demuestran la validez práctica de estas mejoras con alto impacto en los resultados de la empresa.

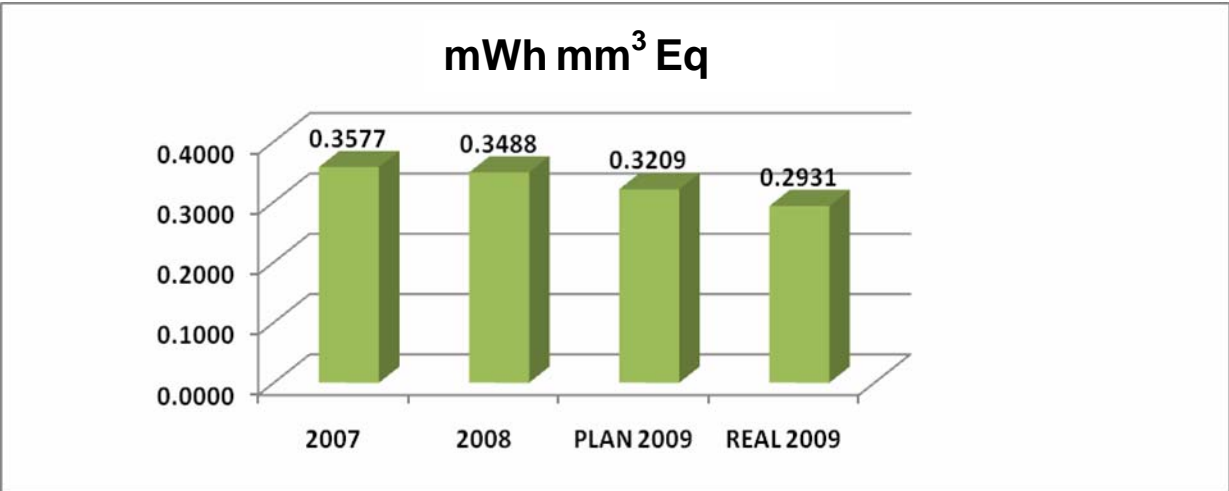
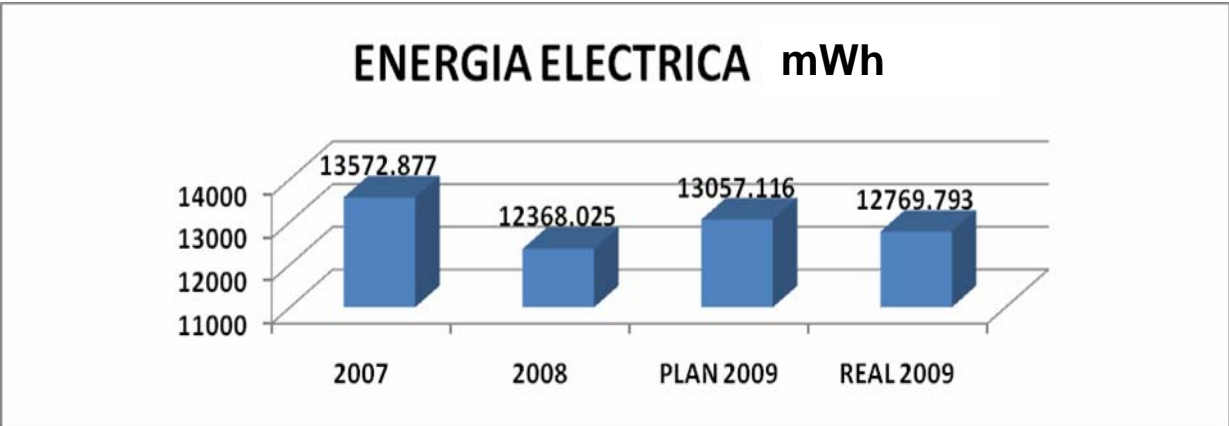
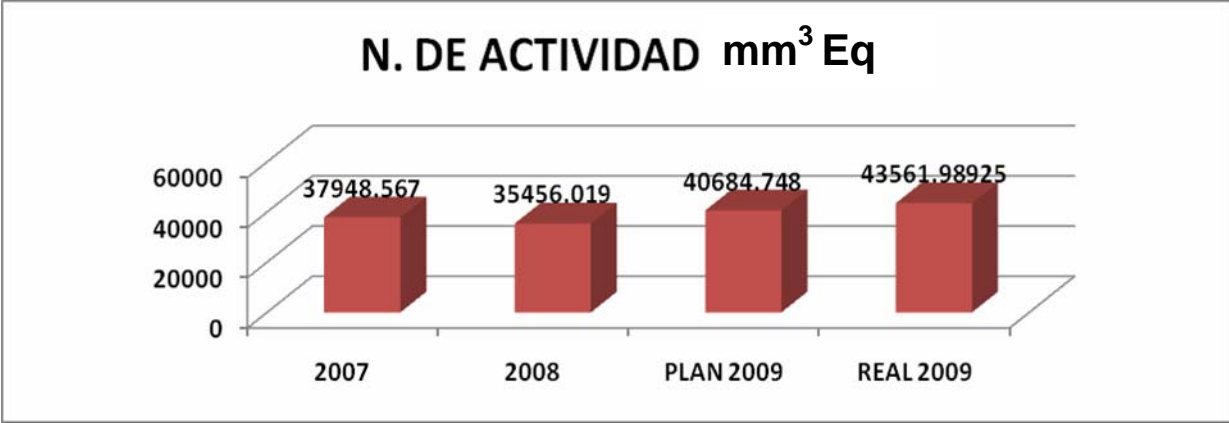


Figura 8. Evolución de los indicadores en la empresa Enfrigo.

2.3. Conclusiones parciales

1. El estado de obsolescencia de la tecnología y el deterioro manifiesto en la infraestructura de los frigoríficos, así como la deficiente preparación del personal para explotarlos y mantenerlos constituyen las principales brechas para mejorar la eficiencia energética en la empresa Enfrigo.
2. Dado en lo fundamental por lo expresado en la conclusión número uno, el monto total del proyecto de mejora es elevado para lo cual debe realizarse a mediano plazo, de ahí la importancia de un sistemático seguimiento y evaluación de los impactos en la eficiencia energética de las mejoras que se introduzcan según el programa.
3. El consumo del año 2008 respecto al 2009 presenta una diferencia de 1204,8 mWh, lo que significa un impacto económico de unos 144 576.00 CUC; de igual manera se observa un mejor aprovechamiento de la energía con 0.0089 mWh menos por metro cúbico equivalente ocupado.

CONCLUSIONES

1. La crisis energética ha situado el tema de la eficiencia energética y en general del ahorro y la búsqueda de fuentes renovables en el centro de las estrategias de desarrollo en todos los países, en Cuba se le brinda particular atención a estos programas reflejados en las políticas definidas por la máxima dirección.
2. Los sistemas de refrigeración durante su operación son grandes consumidores de energía eléctrica, por lo que mejorar su propia eficiencia frigorífica contribuye a la disminución de estos consumos, esto se logra integrando las mejores tecnologías en su diferentes componentes, su mantenimiento y explotación.
3. La aplicación del procedimiento, adaptado a las condiciones específicas de la empresa frigorífica, permitió revelar las deficiencias fundamentales que propiciaban una baja eficiencia Electroenergética y sobre esta base proyectar mejoras para elevar la misma, lo que quedó demostrados en los resultados de la aplicación parcial del programa de mejoras.
4. La aplicación de las mejoras planificadas en el periodo que se evalúa presenta ahorros significativos en el consumo de energía, así por ejemplo el consumo del año 2008 respecto al 2009 presenta una diferencia de 1204,8 mWh, lo que significa un impacto económico de unos 144576.00 CUC; de igual manera se observa un mejor aprovechamiento de la energía con 0.0089 mWh menos por metro cúbico equivalente ocupado y un incremento en la disponibilidad frigorífica de un 10% aproximadamente.

RECOMENDACIONES

1. Dar seguimiento sistemático al cumplimiento de de las mejoras y su evaluación en cada establecimiento, que permita relacionar con mayor precisión los impactos de cada una de las mejoras tecnológicas.
2. Continuar el perfeccionamiento de las herramientas de diagnóstico y su adaptación al contexto de la empresa, dadas la diversidad de establecimientos que presenta distribuidos en todo el país.
3. Analizar en las condiciones económicas actuales la posibilidad de nuevas fuentes financieras para garantizar la continuidad de ejecución del programa.
4. Profundizar en el programa de capacitación del personal.
5. Continuar trabajando en el perfeccionamiento del sistema de mantenimiento de la nueva tecnología para garantizar su eficiencia Electroenergética.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alonso, Juan (2005). La eficiencia energética en la movilidad y el transporte. Disponible en <http://www.innovamar.org/descargas/Laeficienciaenergética.pdf>.
2. Álvarez Guerra, Mario (2005). Temas Avanzados de Refrigeración y climatización. Editorial UNIVERSO SUR. Universidad de Cienfuegos. ISBN 978-959-257-180-8
3. Ambris, Juan y Paredes, Hernando (2002). Eficiencia energética y normativa de sistemas de refrigeración y aire acondicionado. Universidad de Guadalajara. México. 28 p. agj@xanum.uam.mx.
4. Armas Valdés, Juan (2004). Gestión Energética y Potenciales de Ahorro en el Sistema de Climatización del Hotel La Unión. Tesis en Opción del Grado académico de Máster en eficiencia energética. Universidad de Cienfuegos. 91 p.
5. Armas Valdés, Juan y otros (2005). Análisis comparativo haciendo uso de criterios de segunda ley de la termodinámica entre dos sistemas de compresión de vapor. <http://www.bibliociencias.cu/gsd/collect/revistas/index/assoc/HASH0162/doc.pdf>.
6. Avella, Juan (1997). La Eficiencia energética en la Gestión energética Empresarial. Editorial Universidad de Cienfuegos. Cuba. 67 p. ISBN 959-018-3
7. Borroto, Aníbal (2001). Gestión energética empresarial. Editorial Universidad de Cienfuegos. Cuba. 87 p.
8. Borroto, Aníbal (2002). Ahorro de energía en sistemas termomecánicos. Editorial Universidad de Cienfuegos. Cuba. 158 p.
9. Borroto, Aníbal y Monteagudo, José (2006). Gestión Energética en el Sector Productivo y los Servicios. Editorial Universidad de Cienfuegos. ISBN 959-257-040-X. 104 p.
10. Borroto, Aníbal y Monteagudo, José (2006a). Gestión y economía Energética. Editorial Universidad de Cienfuegos. ISBN 959-257-114-7. 64 p.
11. Botana, José (2005). Criterios de selección de compresores frigoríficos. Europe Refrigeration S.A. MYCOM. www.mycom.com.
12. Belmans, Ronnie y Deprez, Win (2004). Efficiency in Motor Driven Systems. Disponible en <http://www.esat.kuleuven.ac.be/electa>
13. CADEM, Grupo EVE (1993). Manual de Eficiencia Energética en la Industria. Bilbao. 98 p.
14. Caravia Pubillones, Francisco (2009). Introducción del concepto de “Puestos claves” en el sector turístico. Memorias de la 11na. Convención Internacional de las Industrias

- Metalúrgica, Mecánica y de reciclaje METANICA. MANTENERG. 22 p. ISSN-1607-6281.
15. Castillo Morín, Hanoi (2009). Gestión energética en la planta de producción de vacunas del instituto Finlay. Memorias de la 11na. Convención Internacional de las Industrias Metalúrgica, Mecánica y de reciclaje METANICA. MANTENERG. 31 p ISSN-1607-6281.
 16. Colectivo de Autores (2006). Universidad de Cienfuegos y Universidad Central de Las Villas. Programa de trabajadores Sociales Dirección Nacional. Puestos Claves y Gestión Total eficiente de la Energía en el Sector productivo y de servicios.
 17. Colectivo de autores (2006a). Gestión y Economía Energética. Centro de estudio de Energía y Medio ambiente, Universidad de Cienfuegos. Editorial Universidad de Cienfuegos. Cuba. 145 p.
 18. CONAE (1995). Diagnósticos energéticos. México. 103 p.
 19. Centro de Estudios de Energía de España (2000). Gestión energética en la industria. 79p.
 20. Castro Ruz, Fidel. (2006) Discurso de inauguración de los Grupos Electrógénos en Pinar del Río 17 de Enero.
 21. Dalby Fuentes, Arnaldo (2009). Ahorro de energía en los sistemas de iluminación y climatización del Centro Inmunología molecular. Memorias de la 11na. Convención Internacional de las Industrias Metalúrgica, Mecánica y de reciclaje METANICA. MANTENERG. 34 p. ISSN-1607-6281.
 22. De la Paz Martínez, Estrella M. (2006). Estrategia y sistemas en la función mantenimiento. Diplomado especializado de gestión de Servicios Técnicos en el turismo. Universidad Central de Villa Clara "Martha Abreu". 46 p.
 23. Espinosa Villarroel, José. (2008). Impacto del Mantenimiento en la Eficiencia Energética. Memorias de Evento GMC. Santiago de Chile. 25 p.
 24. FAIRES, Virgil. (1986). Termodinámica. La Habana, Edición Revolucionaria, 814 p.
 25. González Posada, Cecilia (2009). Sistema de gestión total y eficiente de la energía en la empresa de refractarios Habana. Tesis en opción del grado académico de Máster en eficiencia energética. ISJAE. C. Habana. 89 p.
 26. González García, Alejandro y otros (2006). Consultoría de Gestión del Conocimiento para el cambio en organizaciones y redes de organizaciones <http://www.intempres.pco.cu/Intempres2006/Intempres2006/Ponencias/73.pdf>
 27. Hechavarría Fonseca, Lidier y Alonso Betancourt, Onelis (2004). Análisis del

- comportamiento termodinámico de una instalación frigorífica en condiciones tropicales. Tesis en opción del título de ingeniero mecánico. Universidad de Holguín. 57 p.
28. Hernández Jiménez, Pedro. (2009). Uso racional de los portadores energéticos de la empresa de conformación de Matanzas. Memorias de la 11na. Convención Internacional de las Industrias Metalúrgica, Mecánica y de reciclaje METANICA. MANTENERG. 47p. ISSN-1607-6281.
 29. Herrera, Omar (1994). Equipos de transferencia de calor. 132 p.
 30. Honty, G. (2005). Escenarios Energéticos para el MERCOSUR. Montevideo, Editorial Coscoroba. 45 p.
 31. Hooke, James y otros (2003). Energy Management Information Systems Archiving improved energy efficiency. Handbook. ISBN 0-662-38024-X. 102 p.
 32. Hugot, E. (1989). Manual para ingenieros azucareros. 121 p.
 33. Jessik, I. (2008). Eficiencia energética en instalaciones de refrigeración industrial. www.mathiew.org.
 34. Klaus, Meter y Hinojosa, Luís (2004). Eficiencia energética en sistemas de refrigeración. Revista Frío y Calor No 92.
 35. Kirilin, V.A. y otros (1997). Termodinámica Técnica. La Habana, Editorial Pueblo y Educación. 807p.
 36. Lehman, Harry y Valdivia Sonia (2005). Economía energética internacional. Tomado de: <http://www.eia.doe.gov/emeu/iea/overview.html>. 11 de Mayo de 2006.
 37. López Forero, David (2001). Propuesta de un Sistema de Gestión Energética bajo la concepción de la ISO 9000 para la Industria Colombiana. Tesis en opción del título de Master en Eficiencia Energética. Universidad de Cienfuegos. 83 p.

38. Manske, K.A y otros (2001). Evaporative condenser control in industrial refrigeration systems. International Journal of Refrigeration. Vol. 24, No7 pp. 676-691.
39. Material de estudio. (Marzo–Abril del 2006). La Revolución Energética en Cuba.
40. MYCOM (2006). Ahorro de energía en la refrigeración industrial. MAYEKAWA Chile S.A. 44 p.
41. Mazola Collazo, Nelson. (1991). Manual del sistema Internacional de unidades. Editorial. Pueblo y Educación. La Habana. 226 p.
42. Mazorra, J.A. (2003). Reducción Técnico económica del consumo y pérdidas de energía eléctrica en Empresas Industriales. 38 p.
43. MINBAS (2007). Guía de supervisión y control de consumo y control de portadores energéticos. 75p.
44. Montero Laurencio, Reineris y otros (2007). Eficiencia energética mediante la climatización localizada en hoteles con habitaciones Bungaló. Disponible en <http://www.bibliociencias.cu/gsd/collect/revistas/index/assoc/HASHa629.dir/doc.pdf>.
45. Oganesián, Laert y Delgado, Alexis (1987). Refrigeración, ventilación y acondicionamiento de aire. Universidad de Camagüey. 267p.
46. Oganesián, Laert (1989). Diseño de estaciones evaporadoras. 158 p.
47. Orosco, Carlos (2004). Ahorro de energía y eficiencia energética en sistemas de aire acondicionado y refrigeración. Scientia et Technica. Colombia. Universidad de Pereira. Año X, No 24, Mayo 2004. UTP. ISSN 0122-1701
48. PAEC (2001). Resultados del Programa de Ahorro de Energía en Cuba (Período 1998 – 2000).
49. Pajón Leyva, Eloy y Montes de Oca, Raúl. (2009). Implementación de un sistema de gestión total eficiente de la energía. Memorias de la 11na. Convención Internacional de las Industrias Metalúrgica, Mecánica y de reciclaje METANICA. MANTENERG. 23p. ISSN-1607-6281.
50. Parellada Gamio, María (2008). Sistema de gestión total eficiente de la energía en la empresa conformadora de aluminios Vladimir Ilich Lenín. Tesis en opción del grado académico de Master en Eficiencia energética. CUJAE. 119 p.
51. Parellada Gamio, María (2009). Sistema de gestión total eficiente de la energía en la empresa conformadora de aluminios Vladimir Ilich Lenín. Memorias de la 11na. Convención Internacional de las Industrias Metalúrgica, Mecánica y de reciclaje METANICA. MANTENERG. 68 p. ISSN-1607-6281.

52. Pavlov, K. y otros (1981). Problemas y ejemplos para el curso de operaciones básicas y aparatos en tecnología química. Moscú. Editorial Mir. 610 p.
53. Pérez Campaña, Marisol y otros (2000). Metodología de diagnóstico y solución de problemas. Universidad de Holguín. 128 p.
54. Puertas Hernández, J. (2003). Economía y dirección energética. Universidad de Cienfuegos. 53 p.
55. Poveda, Mentor (2007). Eficiencia energética: recurso no aprovechado. Disponible en <http://www.olade.org.ec/documentos2/EFICIENCIA%20ENERGÍA%20TICA%20RECURSO%20NO%20APROVECHADO-Agosto-2007.pdf>.
56. Restrepo, Álvaro y otros (2007). Estudio y análisis de estrategias de ahorro de energía usando el Software Engineering equation solver para la empresa frigorífico de Pereira. Scientia et technica. Colombia. Mayo. Vol. VIII. No 034. Pp. ISSN 183-188 0122-1701
57. Rodríguez-Pomata, Juan (1994). Calor y frío industrial. Universidad nacional de educación a distancia. Madrid. 145 p.
58. Santamaría, José (2007). La eficiencia energética Crisis energética: ¿Más fuentes de energía o decrecimiento? La energía condiciona nuestras vidas y la política internacional, y es el principal factor de la degradación ambiental. Disponible en <http://www.nodo50.org/worldwatch/ww/pdf/eficiencia.pdf>.
59. SIME (2004). Metodología de auditoría de Mantenimiento y Eficiencia energética. Dirección de Mantenimiento y Energía. Cuba. 96 p.
60. Stoecker, W. (1987). Refrigeración y acondicionamiento de aire. La Habana, Edición Revolucionaria. 406p.
61. Torres Rodríguez, Roberto (2009). Tecnología para la gestión de los Servicios técnicos. Aplicación en hoteles del polo turístico de Guardalavaca. Tesis defendida en opción del grado científico de Doctor en ciencias técnicas. Universidad de Holguín. 197 p.
62. Viego Felipe, Percy y otros (2002). Ahorro de energía en sistemas de suministro eléctrico industrial. Universidad de Cienfuegos. ISBN 959-257-041-8. 146 p.
63. Viego Felipe, Percy y otros. (2006). Temas Especiales de Sistemas Eléctricos. Cienfuegos: ediciones Universidad de Cienfuegos. ISBN 959-257-115-5. 133 p.
64. _____ Uso eficiente de la energía eléctrica. 34 p.

Anexo 1. Esquema de la gestión total eficiente de la energía



Anexo 2. Red de frigoríficos de la empresa nacional Enfrigo.

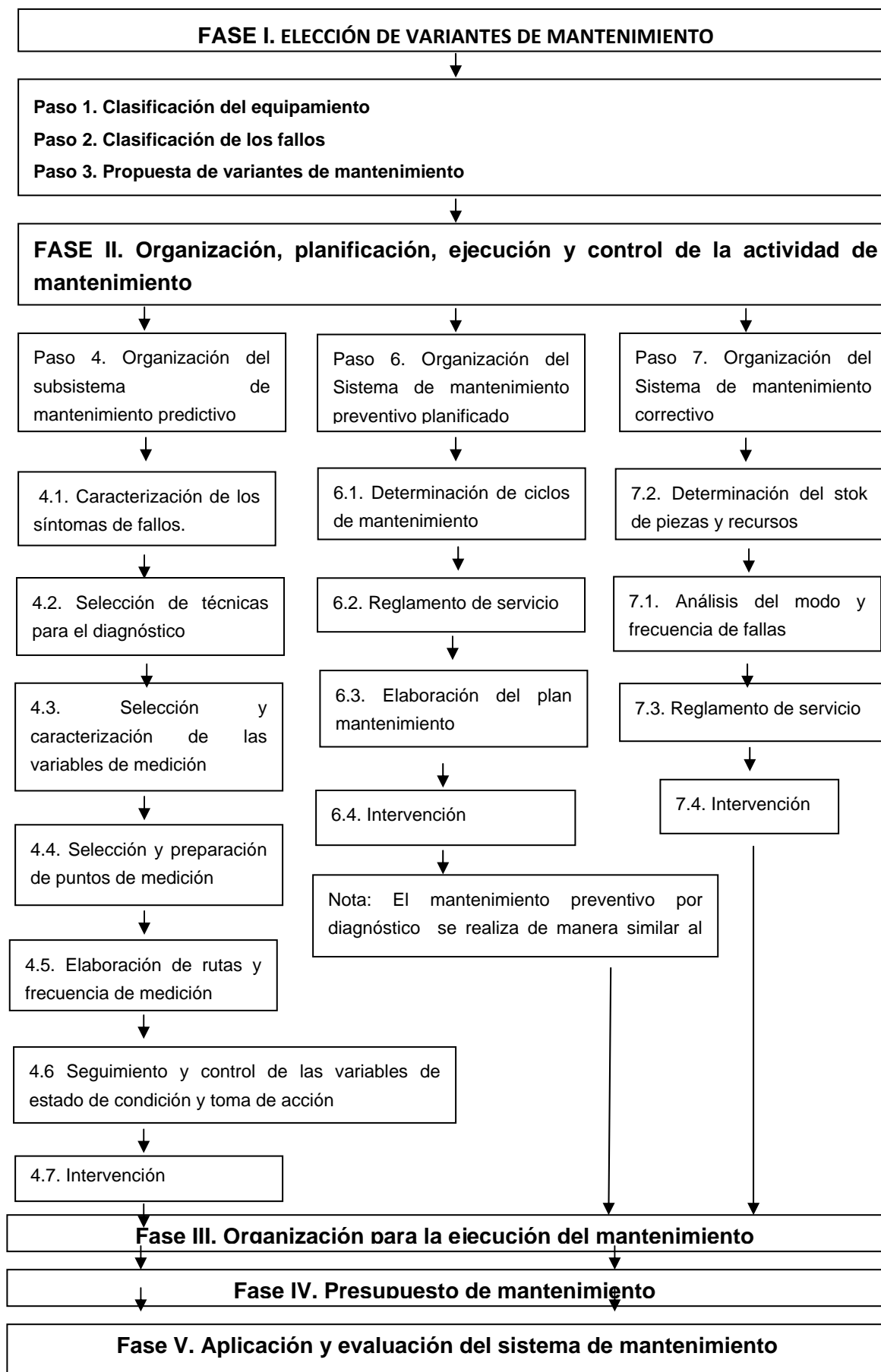
FRIGORIFICOS	CONGELACIÓN			REFRIGERACIÓN			TOTAL			
	CA M.	M³	Ton	CA M.	M³	Ton	CAM.	M³	Ton	TUN EL
PINAR DEL RIO	4	4068	1176	7	11526	3952	11	15594	5128	1
CONSOLACION	0	0	0	11	6947	2504	11	6947	2504	0
U/B P. DEL RIO	4	4068	1176	18	18473	6456	22	22541	7632	1
ARTEMISA	0	0	0	13	9397	3749	13	9397	3749	0
GUIRA	3	3336	1041	29	60364	22494	32	63700	23535	1
ALQUIZAR	0	0	0	24	51216	17884	24	51216	17884	0
U/ PROV. HABANA	3	3336	1041	66	120977	44127	69	124313	45168	1
GUINES I	0	0	0	14	6847	2835	14	6847	2835	0
GUINESII	9	12411	12411	29	37063	13102	38	49474	25513	0
U/B GUINES	9	12411	12411	43	43910	15937	52	56321	28348	0
BOYEROS	0	0	0	47	53926	17884	47	53926	17884	0
CARLOS III	3	407	125	8	2021	878	11	2428	1003	0
BERROA	0	0	0	24	51216	17884	24	51216	17884	0
HABANA DEL ESTE	7	10976	3502	14	22046	9028	21	33022	12530	0
PLAYA	8	10512	3282	8	10512	3344	16	21024	6626	0
U/B C. HABANA	18	21895	6909	101	139721	49018	119	161616	55927	0
MATANZAS	5	7167	2236	16	24804	8956	21	31971	11192	1
JOVELLANOS	0	0	0	18	7524	3115	18	7524	3115	0
COLON	3	2009	648	16	11613	5248	19	13622	5896	0
U/B MATANZAS	8	9176	2884	50	43941	17319	58	53117	20203	1
LA ESPERANZA	0	0	0	18	7519	3113	18	7519	3113	0
PLACETAS	0	0	0	18	12983	5375	18	12983	5375	0
VILLA CLARA	4	8536	2664	12	25608	9260	16	34144	11924	0
U/B V. CLARA	4	8536	2664	48	46110	17748	52	54646	20412	0
S SPIRITUS	4	3636	1134	12	11716	3983	16	15352	5117	0
U/B S SPIRITUS	4	3636	1134	12	11716	3983	16	15352	5117	0
CIEGO I	0	0	0	29	15586	6435	29	15586	6435	0
CIEGO II	4	8536	2664	12	25608	9260	16	34144	11924	0
U/ CIEGO DE AVILA	4	8536	2664	41	41194	15695	45	49730	18359	0
CAMAGUEY	5	8218	2564	16	24804	9028	21	83874	11592	0
M.H TOSCANO	2	1533	197	7	9348	4077	9	10881	4274	0
U/B CAMAGUEY	7	9751	2761	23	34152	13105	30	43903	15866	0
U/B LAS TUNAS	4	8536	2664	10	21340	7770	14	29876	10434	0
HOLGUIN I	0	0	0	25	12311	5097	25	12311	5097	0
HOLGUINII	6	12804	3996	18	38412	13890	24	51216	17886	0
U/B HOLGUIN	6	12804	3996	43	50723	18987	49	63527	22983	0
BAYAMO I	0	0	0	18	12814	4853	18	12814	4853	0
BAYAMO II	4	8536	2664	12	25608	9260	16	34144	11924	0
U/B BAYAMO	4	8536	2664	30	38422	14113	34	46958	16777	0
U/BSTGO DE CUBA	4	3723	863	11	8518	4205	15	12241	5068	1
ISLA DE LA JUVENTUD	4	4818	948	8	16092	3202	12	20910	4150	1
TOTAL GENERAL	83	119762	44779	504	635289	231665	587	755051	276444	5

Anexo 3. Programa de capacitación técnica del personal de Enfrigo. Dirección Técnica.

TEMÁTICAS	FECHA	PARTICIPANTES
Curso de Instalaciones Frigoríficas. Habilitación.	Mayo – Julio	18
Curso de Electricista. Habilitación	Febrero – Abril	12
Curso Operador de Sala de Máquina. Perfeccionamiento.	Abril – Junio	24
Encuentro Riesgos y Peligros Frigoríficos. Divulgación	Octubre	91
Conferencia Situaciones ambientales para las Instalaciones Frigoríficas	1er Semestre	387
Taller de Sala de Máquina Divulgación	2do Trimestre	46
Seminario Normas de Amoniaco Divulgación	Mayo	254
Curso Tratamiento de Aguas Perfeccionamiento	Septiembre	15
Taller Eficiencia Energética. Divulgación	Octubre	8
Curso Buenas Prácticas Perfeccionamiento	Noviembre	4
Curso de Operadores de sala de Máquina. (En Ciego de Ávila)	Diciembre	180

Anexo 4. Tecnología específica para la gestión del mantenimiento

Fuente: Torres Rodríguez (2009)



Anexo 5. Plan de mantenimiento de los elementos de los frigoríficos. Ejemplos.

Difusores (evaporadores)

Estructura de mantenimiento: G-P-P-M-P-P-G

I Reparaciones pequeñas (P) (una vez al año)

1. Desconectar el sistema. Extraer el amoniaco.
2. Soplar con vapor de amoniaco 5-6 Kg/cm² para limpiarlos de aceite.
3. Liquidar los posibles salideros.
4. Limpiar las bandejas.

II Reparaciones medianas (M) (Cada tres años de trabajo)

1. Realizar las operaciones de las reparaciones pequeñas.
2. Cambiar las juntas y uniones de platillos.
3. Reparar los ventiladores de los difusores.

III Reparaciones generales (G) (cada seis años de trabajo)

1. Se realizan las tareas de las reparaciones medias.
2. Cambiar los tubos de evaporador defectuosos, si estos no exceden del 15% del total

Bombas de agua

Estructura de mantenimiento:

G-R-R-R-P-R-R-R-P-R-R-R-P-R-R-R-M-R-R-R-P-R-R-R-P-R-R-R-P-R-R-R-G

I Servicio de cada turno

1. Revisar el nivel de lubricante e los lubricadores, rellenar cuando sea necesario.
2. Revisar si existe exceso de derrame por la empaquetadura o sellos mecánicos.
3. Comprobar si existe temperatura anormal en los cojinetes y en las empaquetaduras o sellos mecánicos.
4. Determinar si la bomba emite ruidos anormales.
5. Comprobar la hermeticidad de la bomba, del conjunto de tuberías y de las purgas.
6. Mantener limpio el exterior de la bomba, así como, libre de objetos y desperdicios.

II Reparación pequeña (4000 horas de trabajo)

1. Abrir el acoplamiento, limpiar y revisar piezas.
2. Comprobar el alineamiento del motor de la bomba, así como libre de objetos y desperdicios.
3. Drenar el lubricante de la bomba y lavar el depósito con solvente adecuado.
4. Rotar el eje a mano, comprobando el giro libre y el comportamiento de los cojinetes.
5. Llenar hasta el nivel, con lubricante nuevo, el depósito de la bomba.
6. Revisar las empaquetaduras; cambiarlas si fuera necesario.
7. Comprobar el apriete de las conexiones de succión y descarga.
8. Armar y engrasar el acoplamiento, utilizar juntas nuevas si se requiere.
9. Revisar las válvulas de las tuberías de succión, descarga y auxiliares.
10. Limpiar exteriores la bomba y su base.
11. Elaborar lista de los defectos y piezas a sustituir durante la próxima reparación planificada.

III Reparación mediana (16000 horas de trabajo)

1. Ejecutar los trabajos comprendidos en la reparación pequeña.
2. Desconectar las tuberías de succión, descarga y auxiliares, extraer el colador de succión y la válvula de retención de la descarga.
3. Desmontar el grupo de la bomba de su caja y desarmarlo completamente.
4. Limpiar y lavar todas las piezas.
5. Inspeccionar el estado de las roscas, cañeros y cuellos del eje, eliminar los arañazos en los puntos de fricción.
6. Inspeccionar los impelentes.
7. Inspeccionar los cojinetes y su ajuste en el soporte y en los cuellos del eje.
8. Inspeccionar sellos y empaquetaduras.
9. Armar el conjunto de bomba, cambiar todas las juntas y verificar el ajuste de todas las piezas.
10. Instalar la empaquetadura nueva: sellos mecánicos y reparados o nuevos.
11. Acoplar el grupo de la bomba a sus cajas y comprobar el giro libre del eje.
12. Limpiar y conectar las tuberías auxiliares, el colador y la tubería de succión.
13. Limpiar y comprobar la válvula de retención, instalar esta y la tubería de descarga.
14. Probar la bomba.

15. Pintar la bomba.

16. Elaborar la lista de los defectos y piezas a sustituir durante la próxima reparación planificada.

IV Reparación general (32000 hrs. de trabajo)

1. Ejecutar los trabajos comprendidos en la reparación mediana.

2. Desmontar la bomba de su base.

3. Desacoplar el grupo de la bomba de la caja y desarmarlo completamente.

4. Comprobar el estado del rotor, su alineamiento y balanceo, cambiar el eje si es necesario.

5. Cambiar las cuñas y piezas de acoplamiento que se encuentren en mal estado.

6. Inspeccionar los impelentes y reemplazarlos si es necesario.

7. Cambiar los anillos de desgaste de los impelentes, cajas y tapas de la bomba, dejar holguras de diseño.

8. Cambiar los cojinetes (rodamientos), comprobar el ajuste de estos en sus soportes y cuellos del eje.

9. Armar el grupo de la bomba, cambiar todas las juntas y verificar el ajuste adecuado de todas las piezas.

10. Instalar empaquetaduras o sellos mecánicos nuevos, así como los sellos del sistema de lubricación.

11. Acoplar el grupo de las bombas a sus cajas y comprobar el giro libre del eje.

12. Montar la bomba sobre su base.

13. Limpiar el filtro o colador, instalar este y la tubería de succión.

14. Inspeccionar y reparar la válvula de detención de la descarga, comprobar su hermeticidad, instalar esta y la tubería de descarga.

15. Reparar completamente las válvulas de las tuberías de succión, descarga auxiliar.

16. Pintar la bomba motor.

Anexo 6. Análisis de cambio de compresores

Establ.	COMPRESORES INSTALADOS				PROPUESTA DE COMPRESORES				
	Can.	Capac. Total (KW)	Poten. Total (KW)	COP	Can.	Capac. Total (KW)	Pot. Total (KW)	COP	Ahorro Potencia Instalada (KW)
304	6	2139.53	965	2.769	3	2616.28	675	3.875	90
202	8	3058.14	970	3.15	4	3488.37	900	3.87	70
301	6	2412.79	805	2.997	3	2616.28	675	3.875	130
303	10	2558.14	900	2.842	3	2616.28	675	3.875	225
503	11	2813.95	990	2.84	3	2616.28	675	3.87	315
1 202	11	2813.95	990	2.84	3	2616.28	675	3.87	315
1 202	11	2813.95	990	2.84	4	3488.37	900	3.87	90
204	10	2558.14	900	2.84	3	2616.28	675	3.87	225
205	7	3593.02	1170	3.07	4	3488.37	900	3.87	270
TOTAL	80	24761.71	8480	2.92	30	26163.19	6750	3.87	1730

Anexo 7. Valoración de condensadores evaporativos

ESTAB.	POT BOMBA DE AGUA (KW)	POT TORRE ENFRIAMIENTO (KW)	POT. TOTAL (KW)	MODEL CHINO	CAPACIDAD (KW)	MODEL	CAPACIDAD (KW)	POT CONDENSADOR EVAPORATIVO (KW)	DIFERENCIA (KW)
Habana del Este	160	44	204	cxv-291G	1252	LSCB-330	1421	45	159
Berroa	172	44	216	cxv-338G	1452	LSCB-370	1593	48.4	167.6
Matanzas	160	22	182	cxv-291G	1252	LSCB-330	1421	45	137
Pinar del Río	160	22	182	cxv-229G	987	LSCB-240	1033	33	149
Placetas	36	-	36	cxv-74G	319	LSCB-75	323	9.1	26.9
Holguín I	36	-	36	cxv-74G	319	LSCB-75	323	9.1	26.9
V. Clara	172	44	216	cxv-338G	1452	LSCB-370	1593	48.4	167.6
Granma II	172	44	216	cxv-338G	1452	LSCB-370	1593	48.4	167.6
Holguín II	172	44	216	cxv-4370	1883	LSCB-490	2109	85	131
Alquízar	88	44	132	cxv-338G	1452	LSCB-370	1593	48.4	83.6
Güines II	88	44	132	cxv-437G	1883	LSCB-490	2109	85	47
TOTAL	1 416	352	1 768					504.8	1263.2

Anexo 8. Índice del manual de operaciones de la dirección técnica de la empresa Enfrigo

ÍNDICE

Páginas	
Introducción.....	-
Capítulo I Manual de explotación de las Instalaciones Frigoríficas	1
1.1 Organización de la Explotación.....	1
1.2 Principales obligaciones de los Operadores de Instalaciones Frigoríficas.	1
1.3 Regla de Seguridad que deben ser observadas por los Operadores al Comenzar el Turno de Trabajo.	2
1.4 Regla de Seguridad que deben observar los Operadores al Terminar al finalizar el Turno de Trabajo.	2
1.5 Regla de Seguridad que debe observar el personal de Mantenimiento y Explotación de las Instalaciones Frigoríficas y e Turno de trabajo de mecánicos y operadores.	3
1.6 Medidas Generales de Protección y Seguridad para el Trabajo con Amoníaco de Equipos y Accesorios.	4
Capítulo II. Manual de Operaciones Generales para Sala de Máquina	11
2.1 Aspectos Generales para la Puesta en Marcha de la Instalación Frigorífica.	11
2.2. Puesta en Marcha y parada de Equipos Tecnológicos	11
2.3 Medidas de Seguridad durante el trabajo en las Instalaciones Frigoríficas.	18
2.4 Medidas de Extinción	24
2.5 Protección en caso de Accidentes con Amoníaco.	24
2.6 Medidas esenciales al trabajar con Amoníaco	25
2.7 Aspectos Generales para la Operación de las Instalaciones Frigoríficas	27
Capítulo III. Normas de Mantenimiento para los Equipos Industriales	41
3.1 Compresores de Tornillo	41

3.2	Condensadores Evaporativos	41
3.3	Condensadores KK-160	42
3.4	Pizarras eléctricas	43
3.5	Cubiertas	43
3.6	Drenaje	43
3.7	Suavizadores de agua automático	43
3.8	Difusores o Evaporadores	44
3.9	Bombas de Agua	45
3.10	Bombas de amoniaco	47
3.11	Recibidores y aparatos intermedio y receptor de aceite	47
3.12	Tornos paralelos	48
3.13	Motores Eléctricos	50
3.14	Esteras Transportadoras	51
3.15	Equipos de Izaje	52
3.16	Fresadora	54
Capítulo IV. Deberes funcionales del Jefe de Brigada mantenimiento, Jefes Técnicos de Establecimientos y Unidades Básicas		57
4.1.	Deberes funcionales de los jefes de brigadas de mantenimiento de frigoríficos	58
Capítulo V. Normas y Procedimiento de lo Establecimientos, de la Enfrigo ante situaciones de desastres naturales o peligro de Agresión.		59
5.1	Temblores de tierra	60
5.2	Ataque armado	60
Capítulo VI. Procedimiento para la Planificación, uso y control de la Energía Eléctrica		61

Anexo 9. Programa general de sustitución de tecnologías

Subprograma de sustitución de condensadores

Establecimiento	Total sustituir	2005	2007	2008	2009	2010
101	2		2			
102	2					2
201	2				2	
202	2			2		
203	2				2	
204	2					2
205	2				2	
301	2		2			
302	2					2
303	2		2			
304	2		2			
305	2				2	
401	2			2		
402	2				2	
403	2	2				
501	2					2
502	2		2			
503	2		2			
701	2			2		
801	2			2		
802	2		2			
901	2				2	
903	2					2
1001	2		2			
1101	2		2			
1102	2		2			
1201	2				2	
1202	2			2		
1301	2		2			
Isla Juventud	1		1			
Total	59	2	23	10	14	10

Subprograma de sustitución de Compresores: Compresores de Tornillo

Est	Total a sustituir	2005	2006	2007	2008	2009
202	3			2		1
204	3			1*		2
205	3					3
301	3			3		
303	3			3		
305	3	3*				
503	3			2		1
802	3		3*			
1001	3			2		1
1102	3			3		
1202	3				2	1
Isla de la Juventud	1			1*		
Total	34	3*	3*	17	2	9

*Compresor Mycom

Compresores Reciprocantes

Est	Total a sustituir	2007	2008	2009	2010
101	2	2			
102	2	1	1		
201	2	1		1	
203	2	1		1	
204	1	1			
401	4	2			2
402	2	1		1	
403	4	3		1	
501	2	2			
502	3	2		1	
503	1		1		
701	1	1			
801	2	1			1
802	1				1
901	3	1		2	
903	4	2	1	1	
1001	1		1		
1102	1		1		
1101	3	1	1	1	
1201	1	1			
1301	2	2			
Total	44	25	6	9	4

Subprograma de sustitución de Puertas cámaras

Establecimiento	2007	2008	2009
101	4		7
202	4		12
204			24
205		18	20
301			
303	4		20
304	2		19
305	1	5	10
401	5		16
503	4		12
701	4		2
801	12	4	3
901	5		16
903	2		4
1001	4	4	8
1102	6	3	15
1202	4		12
Isla de la Juventud	3		
Total	64	34	200