

UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS.

SEDE “Carlos Rafael Rodríguez”.

Facultad de Ingeniería.



**“Tesis presentada en opción al grado de Ingeniero Mecánico.”**

**Título: Caracterización energética de la empresa Frigorífico Cienfuegos con vistas a la implementación de un sistema de gestión energética.**

**Autor:** Javier Rodríguez Quintero.

**Tutor:** Dr.Ing. Mario Álvarez Guerra Plasencia.

Curso

2016-2017



## DECLARACIÓN DE AUTORIDAD UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS

Sistema de Documentación y Proyecto.

Hago constar que el presente trabajo constituye la culminación de los estudios en la especialidad de Ingeniería Mecánica en la Universidad de Cienfuegos, autorizando a que el mismo sea utilizado por el Centro de Estudio Superior para los fines que estime conveniente, ya sea parcial o totalmente, que además no podrá ser presentado sin la aprobación de dicha institución.

---

Firma del autor.

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

---

Información Científico Técnico

Nombre y Apellidos. Firma.

---

Vice Decano.

---

Firma del Tutor

Nombre y Apellidos. Firma.

---

Sistema de Documentación y Proyecto.

Nombre y Apellido. Firma.

## **DEDICATORIA.**

A mis padres y hermana, que siempre han estado cuando las necesito y me dan su apoyo y ayuda incondicional para superar cada atapa de mi vida guiándome por el buen camino.

A los demás miembros de mi familia que siempre se han preocupado y ocupado, apoyándome de acuerdo a sus posibilidades y que siempre están presentes en mi vida.

A mis amigos, compañeros de aula y todas las personas que me han brindado su cooperación y amistad en los malos y buenos momentos.

## **AGRADECIMIENTOS.**

A toda mi familia, en especial a mis padres, hermana y cuñado por su incondicionalidad.

A todos los profesores que durante toda mi vida han colaborado con mi formación profesional y en especial a los que en estos últimos 5 años me han enseñado a formarme como un ingeniero.

A mi asesora en el Frigorífico Cienfuegos Ing.Yareli, por su importante colaboración en el desarrollo de este trabajo.

A mi tutor Dr. Mario Álvarez Guerra Plasencia por toda la ayuda brindada.

A todas las personas que de una forma u otra me colaboraron.

*Muchas Gracias.*

## Resumen.

En el presente trabajo se investiga acerca de la eficiencia energética y de las herramientas existentes para lograrla, de las ventajas que tiene la aplicación de la NC ISO 50001:2011 en la economía de cualquier tipo de organización. Se hace un estudio energético de la empresa Frigorífico Cienfuegos teniendo en cuenta la demanda y consumo histórico, así como los equipos eléctricos que son utilizados en sus procesos. Se define cuáles son los usos significativos de la energía y la zona que emplea el mayor porcentaje de electricidad. Todo lo anterior con el propósito de realizar una caracterización energética para detectar las deficiencias existentes y poder implementar posteriormente los requisitos establecidos en un Sistema de Gestión de la Energía utilizando como referencia la NC ISO 50001:2011. Además, se proponen medidas para mejorar el desempeño energético.

### **Palabras claves.**

Energía, eficiencia, economía, medidas.

## Summary.

Presently work is investigated about the energy efficiency and of the existent tools to achieve it, of the advantages that he/she has the application of NC ISO 50001:2011 in the economy of any organization type. An energy study of the company Refrigerator Cienfuegos is made keeping in mind the demand and historical consumption, as well as the electric teams that are used in its processes. He/she is defined which they are the significant uses of the energy and the area that it uses the biggest electricity percent. All the above-mentioned with the purpose of carrying out an energy characterization to detect the existent deficiencies and to be able to implement the requirements settled down in a System of Management of the Energy using later on like reference NC ISO 50001:2011. Also, they intend measures to improve the energy performance.

### **Keywords:**

Energy, efficiency, economy, measures.

# *INDICE.*

## Índice.

Introducción.....	1
Problema: .....	2
Hipótesis:.....	2
Objetivo general:.....	2
Objetivos específicos:.....	2
Capítulo 1 : La norma NC ISO 50001:2011. Aspectos teóricos que caracterizan la gestión y la eficiencia energética.....	3
1.1 Sistema de Gestión de la Energía NC ISO 50001:2011. ....	3
1.1.1 Objetivos de un Sistema de Gestión de la Energía. ....	3
1.1.2 Requisitos generales del Sistema de Gestión de la Energía.....	4
1.1.3 Planificación de la gestión energética. ....	5
1.1.4 Revisión energética.....	6
1.1.5 Ventaja de la NC ISO 50001:2011 para su implementación en Cuba.....	7
1.2 Eficiencia energética.....	7
1.2.1 Uso de energías renovables. ....	8
1.2.2 Diversidad energética.....	9
1.2.3 Cambio de hábitos. ....	11
1.2.4 Innovación tecnológica.....	11
1.2.5 Eficiencia energética en aislamiento térmico de tuberías.....	11
1.2.6 Eficiencia energética en la refrigeración.....	17
1.2.7 Ahorro y eficiencia energética en motores. ....	20
1.3 Refrigeración industrial. ....	27
1.3.1 Importancia de la refrigeración industrial para conservar los alimentos.27	
1.3.2 Clasificación y descripción de los componentes de una instalación frigorífica. ....	30

1.3.3 Caracterización del amoníaco como sustancia de trabajo en sistemas de refrigeración industrial.....	38
1.3.4 Indicadores para el desempeño energético en frigoríficos. Norma NC 1072: 2015.....	41
Conclusiones parciales.....	44
Capítulo 2 : Caracterización energética de la instalación Frigorífico Cienfuegos..	36
2.1 Caracterización de la empresa.....	36
2.1.1 Descripción técnica de la instalación. (para un mejor entendimiento ver Anexo 3).....	42
2.1.2 Ciclo de refrigeración.....	44
2.2 Características energéticas de la empresa Frigorífico Cienfuegos.....	46
2.2.1 Características de la red de suministro eléctrico y tarifa.....	47
2.2.2 Consumo histórico de electricidad.....	48
2.2.3 Gráficos de control.....	49
2.2.4 Consumo histórico en los horarios día, pico y madrugada.....	53
2.2.5 Demanda máxima registrada y contratada.....	54
2.2.6 Factor de potencia.....	54
2.2.7 Consumo histórico y nivel de actividad.....	55
2.2.8 Correlación entre Nivel de Actividad vs. Consumo eléctrico.....	56
2.3 Censo de carga e identificación de los USEn (Usos Significativos de la Energía).....	58
2.4 Determinación de IDEns (Indicadores de Desempeño Energético).....	62
2.5 Línea base energética y línea meta.....	63
Conclusiones parciales.....	66
Capítulo 3 : Oportunidades de mejora del desempeño energético.....	67
3.1 Seccionalización de las cámaras frigoríficas.....	67

3.2 Escalonamiento de los compresores existentes. ....	68
3.3 Sustitución de compresores actuales por compresores de tornillo. ....	68
3.4 Reemplazo de las luminarias UHID (Ultra High Intensity Discharge) por luminarias LED. ....	68
3.5 Instalación de variadores de frecuencia.....	69
3.6 Reconstrucción de la demanda. ....	69
3.7 Insulación de sistemas de tuberías.....	70
3.7.1 Cálculo del espesor de aislamiento.....	71
3.8 Sustitución de motores existentes por motores de alta eficiencia.....	74
Conclusiones parciales: .....	78
Conclusiones generales. ....	80
Recomendaciones.....	81
Revisión Bibliográfica. ....	82
Anexos. ....	84

# *INTRODUCCION.*

## Introducción.

En la actualidad han surgido nuevas técnicas que permiten un mejor uso de las fuentes renovables de energía y que fomentan un camino que respeta los ciclos biológicos de la naturaleza. No obstante, como estas nuevas técnicas aún no han consolidado su implantación y generalización, un camino certero y necesario hasta que prevalezca su uso lo constituye velar por un aprovechamiento eficiente y racional de la energía obtenida de los combustibles tradicionales, conjugándose la necesidad de su sustitución y las acciones, tanto internacionales como nacionales, hacia el cambio de la política energética, con el fin de reducir la contaminación ambiental y a su vez garantizar el desarrollo tecnológico, económico, político y social de las naciones de nuestro planeta.

Hoy, la norma NC ISO 50001:2011 Sistemas de gestión de la energía. Requisitos con orientación para su uso, surge como elemento avanzado capaz de orientar hacia la implementación de un sistema de gestión energética con el propósito de velar por un aprovechamiento eficiente y racional de la energía, ofrece a una organización un enfoque sistémico para controlar y reducir el consumo de energía sin implicar un deterioro de los niveles de productividad o en la calidad de los servicios.

La empresa Frigorífico Cienfuegos, ubicada en la Zona Industrial No. 2 del municipio de Cienfuegos, está formada por 8 frigoríficos, los cuales emplean como refrigerante el amoníaco. Estos por su amplio uso y capacidad de almacenamiento, se consideran grandes consumidores de energía, siendo la disminución de estos consumos tarea fundamental ante la crisis energética que afronta el mundo, agravada aún más en nuestro país por sufrir carencias debido al estado de su economía.

La empresa desde hace unos 3 años viene tomando el rumbo hacia el camino de la eficiencia y el cuidado del medio ambiente mediante una constante monitorización del consumo eléctrico y del agua. Sin embargo, carece de la correcta orientación y de los métodos idóneos para alcanzar con mayor rapidez el camino de la eficiencia

y del cuidado del medio ambiente, por ello es que surge la idea de acogerse a la norma NC ISO 50001:2011.

**Problema:**

La empresa Frigorífico Cienfuegos no cuenta con un sistema de gestión de energía para controlar el uso de su principal portador energético, que es la electricidad.

**Hipótesis:**

La implementación de un sistema de gestión energética permitirá un mejor manejo del consumo de la electricidad en la entidad sin afectar las condiciones de los trabajadores y los estándares de calidad a tener en cuenta para conservar los productos en las cámaras frigoríficas, conllevando a una mejora de sus resultados económicos.

**Objetivo general:**

Realizar una caracterización energética de la empresa Frigoríficos Cienfuegos utilizando herramientas y procedimientos que contribuyan al cumplimiento de requisitos establecidos en la etapa de Planificación de la NC ISO 50001:2011 para la futura implementación de un Sistema de Gestión de la Energía.

**Objetivos específicos:**

- ✓ Analizar bibliografía sobre la gestión energética en el mundo y en Cuba.
- ✓ Realizar la caracterización general energética de la empresa, definiendo requisitos como: usos significativos de la energía, indicadores de desempeño energético, líneas base y meta energéticas.
- ✓ Proponer y evaluar medidas de mejora del desempeño energético.

# *CAPITULO I.*

## Capítulo 1 : La norma NC ISO 50001:2011. Aspectos teóricos que caracterizan la gestión y la eficiencia energética.

### **1.1 Sistema de Gestión de la Energía NC ISO 50001:2011.**

El Sistema de Gestión de la Energía (SGE) es la administración eficiente de la adquisición, transformación, transporte y uso final de la energía en la empresa, bajo la supervisión de la gerencia, con el objetivo de reducir los costos de producción, sin que la empresa desvíe la atención y los recursos de su actividad productiva principal.

Se realiza mediante un proceso de reingeniería de la gestión energética, que instala en la empresa procedimientos, herramientas y capacidades para su uso continuo y se compromete con su consolidación elevando las posibilidades técnico-organizativas de la empresa en la gestión por la reducción de sus costos energéticos. (Conferencia Regional hacia el establecimiento de una Norma Internacional para un sistema de Gestión de la Energía, 2008)

#### **1.1.1 Objetivos de un Sistema de Gestión de la Energía.**

- Formular una política energética empresarial y tomar decisiones estratégicas con relación a la energía.
- Formular metas viables con respecto al empleo y consumo de energía en la empresa y sus diferentes áreas.
- Planear y presupuestar la demanda energética.
- Diseñar, elaborar y desarrollar programas de ahorro de energéticos.
- Concebir e implementar programas de mantenimiento centrado en eficiencia.
- Desarrollar programas de capacitación y motivación del personal.
- Implementar y mantener un control energético continuo en la empresa.
- Desarrollar e institucionalizar una asesoría energética interna dentro de la empresa.

- Documentar el manejo de la energía en la empresa para garantizar permanencia de la eficiencia.

### 1.1.2 Requisitos generales del Sistema de Gestión de la Energía.

- Responsabilidad de la alta dirección de la organización.
- Política Energética.
- Planificación Energética.
- Implementación y Operación.
- Verificación de Desempeño.
- Revisión de la alta Dirección.

La implementación de un sistema de gestión de la energía tiene por objeto la mejora del desempeño energético. Por lo tanto, la norma se basa en la premisa de que la organización revisará y evaluará periódicamente su sistema de gestión de la energía

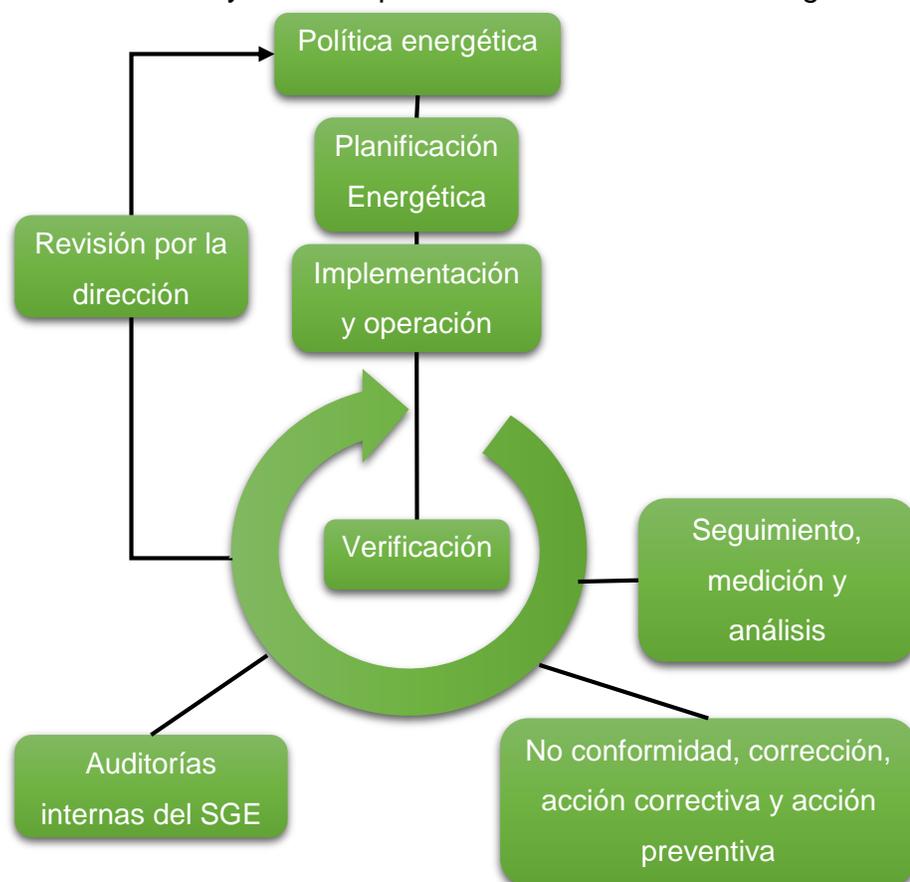


Figura 1.1 Diagrama del proceso de implementación de la NC ISO 50001:2011. Fuente: Norma Internacional NC ISO 50001 del 2011.

para identificar oportunidades de mejora y su implementación. La organización dispone de flexibilidad para implementar su Sistema de Gestión de la Energía, por ejemplo, la organización determina el ritmo de avance, la extensión y la duración del proceso de mejora continua. El diagrama de la Figura 1.1 ilustra como es el proceso de implementación de la norma y como es el proceso de mejora continua y sus fases.

### 1.1.3 Planificación de la gestión energética.

El esquema básico de la planificación de la gestión energética se fundamenta en el estudio de los usos y consumos de energía, la identificación de las fuentes de energía y de las variables que afectan al uso de la energía (Ver Figura 1.3). Requiere una revisión energética en el que el análisis de los usos y consumos de energía identifique las áreas de uso y consumos significativos de energía y permita proponer oportunidades para la mejora de la eficiencia energética. Con esta revisión se establece la línea de base que se define como una referencia cuantitativa para la comparación del rendimiento energético; se fijan indicadores de rendimiento energético en los que se relacione consumo energético con otra variable de referencia, por ejemplo, kWh/m<sup>2</sup>, kWh/pieza. Finalmente se aprobarán los objetivos de mejora y unos planes de acción para llegar a alcanzarlos. (Optima Grid, 2012)

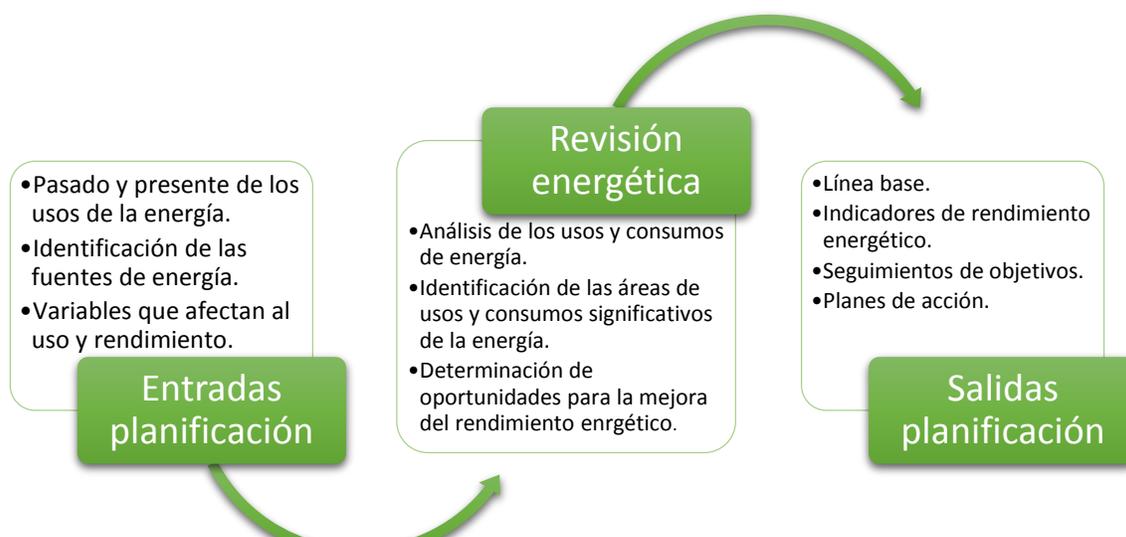


Figura 1.3 Esquema del proceso de planificación energética. Fuente: Artículo Buenas prácticas para el ahorro de energía de la empresa. Optima Grid.

#### **1.1.4 Revisión energética.**

La revisión energética es la determinación del desempeño energético de una organización basado en datos y otra información que dan lugar a la identificación de oportunidades de mejora.

El proceso de revisión energética debe llevar a una organización a definir áreas, equipos y personal claves, establecer los índices de consumo y sus líneas de base energética, determinar el desempeño energético actual y estimar el futuro, identificar y priorizar oportunidades para mejora, y establecer los objetivos, metas y planes de acción para mejorar el desempeño energético y así ser consecuente con la política energética de la organización.

El objetivo energético es el resultado específico o logro establecido para cumplir la política energética relacionada con la mejora del desempeño energético; y la meta energética es el requisito detallado y cuantificable del desempeño energético, aplicable a la organización o sus partes, que surge del objetivo energético y que necesita ser establecida y conocida para alcanzar este objetivo.

Los objetivos y metas deben ser coherentes con la política energética, y las metas deben ser consecuentes con los objetivos.

Los planes de acción de la gestión energética incluyen las oportunidades de mejora del desempeño energético, identificadas en la revisión energética, que se establecen para cumplir con la política, objetivos y metas energéticas.

##### **1.1.4.1 Información necesaria para realizar la revisión energética.**

- Información general de la empresa.
- Portadores energéticos y usos de energía por tipo de portador energético.
- Facturas de portadores (energía y agua).
- Datos del contrato de energía eléctrica: tipo de tarifas, demanda máxima, factor de potencia, etc.
- Diagrama unifilar del sistema de suministro eléctrico. Datos transformadores.
- Indicadores que utilizan para medir eficiencia del uso energía.

### **1.1.5 Ventaja de la NC ISO 50001:2011 para su implementación en Cuba.**

Entre las ventajas que favorecen la implementación de la NC ISO 50001:2011 se encuentra: la de plantear las directrices a base de requisitos que permiten una gestión energética eficaz, que la norma es aplicable a cualquier organización independientemente de su razón social y dimensión, al ser una norma genérica que aborda los requisitos de los sistemas de gestión de energía con una filosofía de mejora continua que deriva y mantiene un registro de acciones preventivas y correctivas, puede ser diseñada para ser empleada de manera individual o integrada con otros sistemas de gestión, como el de la calidad y el medioambiental.

### **1.2 Eficiencia energética.**

La eficiencia energética es una práctica que tiene como objeto reducir el consumo de energía; ofrecer servicios o producir en igual o mayor magnitud con menos energía, sin incumplir los requisitos preestablecidos por el cliente generando el menor impacto posible al medio ambiente; pudiendo estar entre ellos: iluminar mejor consumiendo menos energía mediante una adecuada distribución de las luces y el empleo de tecnologías inteligentes que reaccionen con el entorno. Es un instrumento fundamental para dar respuesta a los retos del sector energético mundial: el cambio climático, la calidad y seguridad del suministro energético, la evolución de los mercados y la disponibilidad de fuentes de energía. La disminución de costos y la sostenibilidad económica, el establecimiento de una política ambiental, entre otros son aspectos que se ven favorecidos con la práctica de la eficiencia energética influyendo de manera directa en el mejoramiento de la competitividad económica.

La vía hacia la eficiencia energética tiene que ir direccionada hacia la adopción de estrategias que incluyan: uso de energías renovables, diversidad energética, cambio de hábitos e innovación tecnológica. (Ver Figura 1.4)

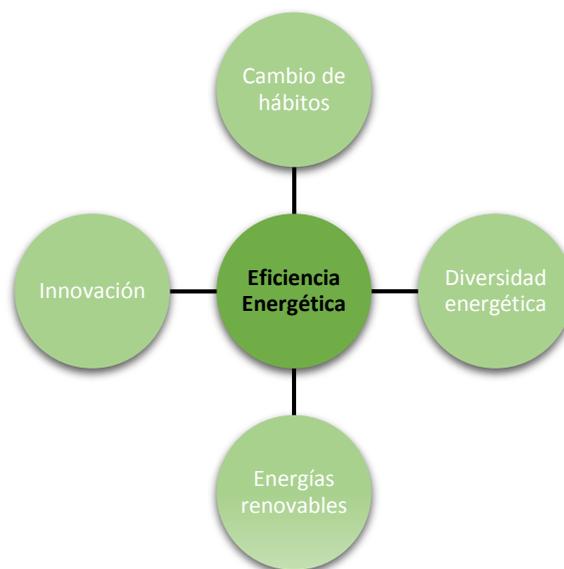


Figura 1.4 Aspectos que influyen en la eficiencia energética. Fuente: Artículo Buenas prácticas para el ahorro de energía de la empresa. Optima Grid.

### 1.2.1 Uso de energías renovables.

Las energías renovables son recursos limpios y casi inagotables que nos proporciona la naturaleza. Por su carácter autóctono contribuyen a disminuir la dependencia de los suministros externos, aminoran el riesgo de un abastecimiento poco diversificado y favorecen el desarrollo tecnológico y la creación de empleo. (Optima Grid, 2012)

La disponibilidad de las distintas fuentes de energías renovables es heterogénea en una localidad. Esto permite que en casi cualquier lugar se pueda contar con al menos una fuente de carácter autóctono. Esta riqueza de las energías renovables implica, por otro lado, un nivel de complejidad del sistema mucho mayor que el abastecimiento por fuentes convencionales caracterizado fundamentalmente por la especialización entre oferta y demanda, con un modelo de generación concentrado y grandes centros de consumo distantes de los recursos y de la generación. La diversidad espacial de las fuentes renovables hace que se adecuen especialmente,

en términos de producción de energía y en la resolución de problemas de suministro de energía en condiciones de generación distribuida.

### **1.2.2 Diversidad energética.**

Tener diferentes fuentes de generación de energía permite contar con un sistema eléctrico sólido y confiable. Los avances tecnológicos permiten contar no sólo con sistemas tradicionales como las plataformas de generación térmica o hidráulica, sino también con tecnologías capaces de originar electricidad a partir energías renovables. (Optima Grid, 2012)

#### *Sistema de energía híbrido.*

Contar con un sistema de energía híbrido permite una mayor fiabilidad energética y la reducción del costo de los portadores energéticos. Un sistema de energía híbrido es aquel que produce energía con más de una fuente de generación tales como: turbinas eólicas, paneles solares, planta de la biomasa, turbinas hidráulicas, otras. El sistema almacena el exceso de energía en unidades de baterías, y se podría configurar también para utilizar la energía de la red eléctrica local cuando el almacenamiento de reserva en baterías es bajo. Cuando un solo recurso energético no puede cubrir la demanda energética, por su disponibilidad y costo, el sistema híbrido ha demostrado ofrecer la posibilidad potencial de producción de energía. Poner juntos varios sistemas es la opción potencial para cubrir la demanda de energía local estableciendo una estrategia de suministro de energía en muchos países (Ver Figura 1.5). (Rodríguez, 2016)



Figura 1.5 Representación gráfica de un sistema híbrido. Fuente: Tesis de grado Modelación del sistema de generación de agua caliente del Hotel Cayo Santa María. Marlon Carlos Rodríguez Triana.

Si las fuentes renovables de energía son la solución energética más viable ¿por qué no depender totalmente de ellas? Los sistemas descentralizados solares fotovoltaicos y eólicos tienen algunas limitaciones, son sistemas independientes que no pueden proporcionar energía continua; en el caso de energía fotovoltaica no pueden suministrar energía de manera segura durante días no soleados. El eólico no puede satisfacer las demandas constantes de la carga debido a las fluctuaciones significativas en la magnitud de velocidades de viento. Ambos recursos, poseen un comportamiento estocástico de su disponibilidad. Por tanto, son necesarios sistemas de almacenamiento de energía para satisfacer la demanda. Estos sistemas son generalmente costosos y sus dimensiones tienen que ser minimizadas para que el sistema descentralizado de fuentes de energías renovables sea rentable. Por otro lado, los sistemas eléctricos híbridos son utilizados para reducir requisitos de almacenamiento de energía.

### **1.2.3 Cambio de hábitos.**

El comportamiento energético o bien es consecuencia de la adquisición de un equipo o bien es un hábito de conducta. El primer caso generalmente implica la adquisición de nueva tecnología, tal vez la compra de un nuevo electrodoméstico, mientras que los hábitos son consecuencia de una conducta rutinaria; entre ellos puede estar, apagar siempre las luces al salir de una habitación, desconectar equipos que estén consumiendo y no se estén empleando, mantener cerrados los locales climatizados, entre otros. Una de las claves de la eficiencia energética es administrar los recursos energéticos de un modo hábil y eficaz, que incluya cambios de comportamiento en el uso de la energía. La modificación de los hábitos viene mayormente ligada al nivel cultural energético de las personas y si este es elevado mediante educación, puede representar un gran porcentaje de disminución de consumo con el mínimo de las inversiones. (Optima Grid, 2012)

### **1.2.4 Innovación tecnológica.**

La innovación tecnológica está íntimamente relacionada con la eficiencia energética y la búsqueda de mejoras en los procesos industriales que requieran menos energía para generar bienes y servicios. (Optima Grid, 2012)

### **1.2.5 Eficiencia energética en aislamiento térmico de tuberías.**

El ahorro y la eficiencia energética de las instalaciones, se consigue en multitud de aplicaciones. Una de ellas, es el aislamiento de equipos y tuberías por las que circulan fluidos calientes o fríos procedentes de equipos de generación térmica en instalaciones de calefacción, climatización, agua caliente sanitaria y energía solar térmica. (Rivas, 2017)

#### **1.2.5.1 Aislantes térmicos más empleados.**

En el mercado, existen numerosas soluciones para realizar el aislamiento térmico de las tuberías empleadas en las instalaciones. A continuación, haremos un breve repaso de los más habituales, y sus características principales.

*Espuma elastomérica.*(Ver figura 1.6)

La espuma elastomérica es un aislamiento térmico formado por caucho sintético, y con estructura celular cerrada. Se presenta en forma de coquillas, para el aislamiento térmico de tuberías, y de planchas para el aislamiento térmico de conductos de climatización y accesorios.

## PROPIEDADES



Figura 1.6 Propiedades de la espuma elastomérica Armaflex. Fuente: Catálogo de aislamiento térmico Armaflex de la Corporación Armacell Enterprise GmbH & Co. KG

Este material, posee una baja conductividad térmica, excelente flexibilidad y facilidad y rapidez de instalación. Para aislamiento de tuberías, habitualmente se suele presentar en rollos de 2 metros de color negro. Existen en el mercado espumas elastoméricas para distintas aplicaciones dependiendo de las temperaturas de trabajo, para control de la condensación, aislamientos de salas de máquinas etc.

*Lana Mineral.* (Ver figura 1.7)

De todos es conocida la lana de vidrio y lana de roca como materiales aislantes térmicos-acústicos en edificación residencial y terciaria, utilizándose, también, para el aislamiento de tuberías tanto en instalaciones de edificación, como industriales.

Disponen de una muy baja conductividad térmica, por lo que se presentan como



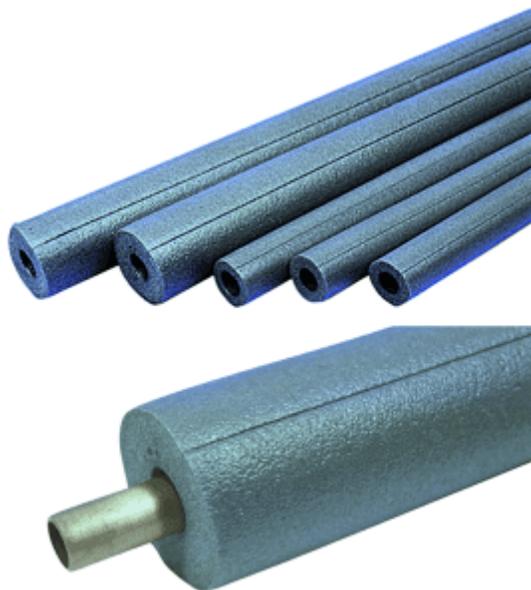
*Figura 1.7 Lana Mineral. Fuente: Artículo "Ahorro energético con aislamiento térmico para tuberías"*

una solución muy eficaz para el aislamiento de tuberías y accesorios en instalaciones frío y/o calor.

Se suelen presentar en forma de coquilla desnuda o con recubrimiento de papel de aluminio como barrera de vapor.

*Polietileno.*(Ver figura 1.8)

El polietileno, es un polímero utilizado en múltiples aplicaciones; una de ellas es la fabricación de coquillas de aislamiento térmico para tuberías. Al igual que las coquillas de espuma elastomérica, presentan gran flexibilidad para adecuarse fácilmente al diámetro y trayectoria de la tubería.



*Figura 1.8 Polietileno en coquillas. Fuente: Artículo "Ahorro energético con aislamiento térmico para tuberías"*

La conductividad térmica, suele ser más elevada que en los materiales anteriores, por lo que su aislamiento térmico es menor, al igual que su precio, en comparación con las coquillas de lana mineral o de espuma elastomérica.

Se suelen presentar en longitudes de 2 metros y color gris, pudiendo encontrarse en otros colores. (Rivas, 2017)

#### **1.2.5.2 Criterios técnicos para la elección del aislamiento térmico adecuado.**

-Conductividad: Cuanto menor sea la conductividad, mejor será el aislamiento térmico del material. En la ficha técnica del fabricante, deberá figurar este valor (ensayado según normas homologadas), a una temperatura dada (generalmente son 10°C). A modo de ejemplo, en la tabla se reflejan valores de conductividad térmica de una coquilla de lana mineral a diferentes temperaturas de trabajo, siendo de 0,032 W/mK para 10°C.

Tabla 1-1 Conductividad térmica de una coquilla de lana mineral.

Propiedades		Unidades	Valores
Conductividad térmica ( $\lambda_v$ )	50° C	W/(m·K)	0,038
	150° C		0,055
	200° C		0,066
	300° C		0,101
Reacción al fuego		Euroclase	A2 <sub>1-s1</sub> , d0
Resistencia al vapor de agua		m <sup>2</sup> · h · Pa/mg	100

La conductividad térmica  $\lambda$  a 10° C se estima a 0,032 W/(m·K) .

- Espesor: Especialmente relevante en la elección de un aislamiento para tuberías, es el espesor del material. Lógicamente, cuanto mayor sea este valor, mejor comportamiento térmico se obtiene. Esta magnitud, aportada por los fabricantes en milímetros, está estrechamente relacionada con los requerimientos normativos del Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE), en los que se fijan los espesores a emplear, en función de la temperatura de trabajo y los diámetros de la tubería. A continuación, a modo de ejemplo, se muestra una tabla con los espesores del fabricante del material de apartado anterior en función de los rangos de temperaturas y los diámetros de las tuberías.

Tabla 1-2 Espesores del fabricante. Fuente: Artículo "Ahorro energético con aislamiento térmico para tuberías"

Diámetro interior de la coquilla		* Espesor (mm) según temperatura fluido (cumplimiento RITE)			Longitud (m)
Pulgadas	mm	40 a 65 °C	66 a 101 °C	102 a 120 °C	
3/2	21	25	25	25	1,2
3/4	27				
1	34				
1 1/4	42	30	30	40	
1 1/2	48				
2	60				
2 1/2	76				
3	89	40	40	50	
4	114				
5	140				
6	169				
8	219				

-Rango de las Temperaturas de Trabajo: Es necesario que el fabricante aporte las temperaturas máximas y mínimas de trabajo a las que pueden ser sometidas los materiales, sin que sufran deterioro.

- Reacción al Fuego: Aunque no es un dato a tener en cuenta para la eficiencia y ahorro energético, sí lo es en cuanto a seguridad y adecuación a la normativa sobre

materiales empleados en las instalaciones y su reacción al fuego. Las clasificaciones en cuanto a su reacción al fuego, debe ser la correspondiente a la norma UNE EN 13501-1:2007+A1:2010 y los requerimientos exigidos en el documento básico DB SI del Código Técnico de la Edificación.

### 1.2.5.3 Eficiencia energética aportada por el aislamiento térmico de tuberías.

Tanto en obra nueva, por la aplicación de la normativa correspondiente, como en rehabilitaciones o mejoras energéticas de edificios, la instalación de un aislamiento térmico adecuado en las conducciones, accesorios y depósitos de acumulación de instalaciones de agua fría o caliente, aportan un ahorro energético considerable, con un período de amortización muy reducido (entre 6 meses y un año).

Para ofrecer datos concretos, el ahorro máximo que se puede conseguir está en torno a un 85-90% con respecto a una instalación sin aislar. En el siguiente gráfico de la figura, se indican los ahorros en función del espesor y diámetro de las tuberías.

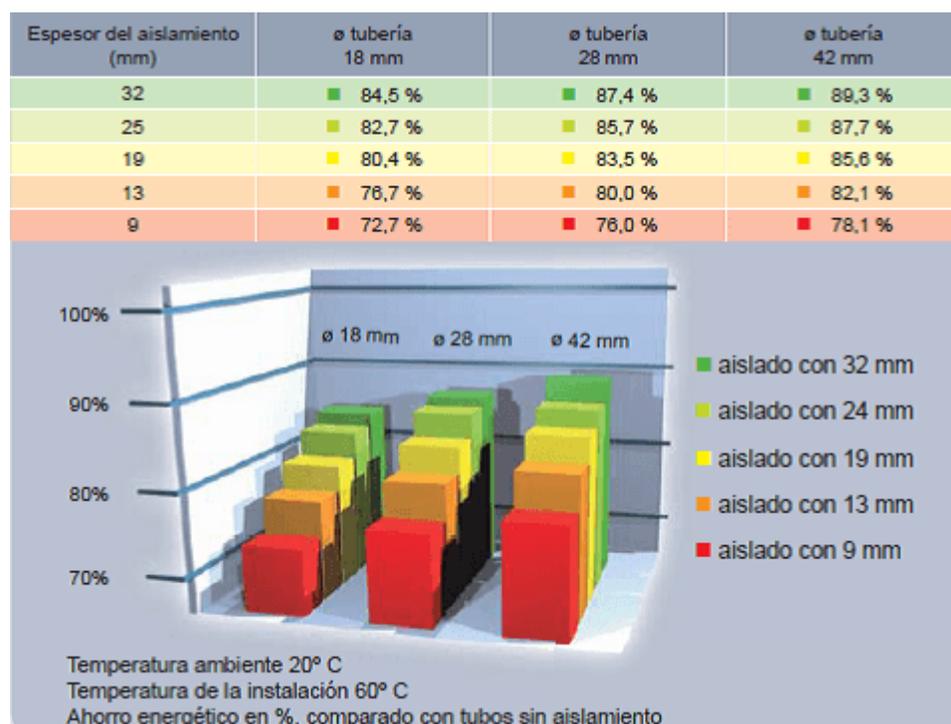


Figura 1.9 Ahorro energético en % comparado con tuberías sin aislamiento. Fuente: Artículo "Ahorro energético con aislamiento térmico para tuberías"

En el siguiente gráfico, se pueden observar las pérdidas con las tuberías sin aislar, y con diferentes espesores, en función de los diámetros. A mayor diámetro sin aislamiento, mayores pérdidas, mientras que con tuberías aisladas las pérdidas se reducen considerablemente.

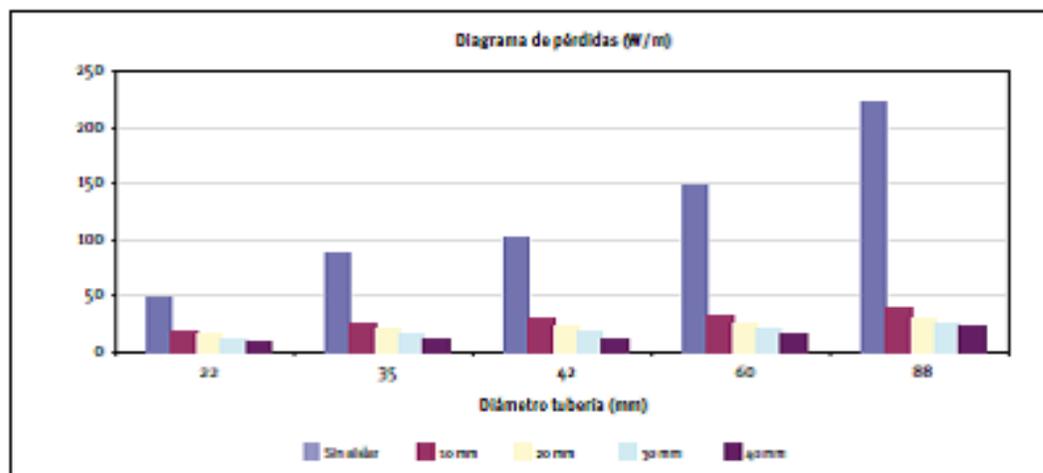


Figura 1.10 Pérdidas energéticas de las tuberías sin aislamiento. Fuente: Artículo "Ahorro energético con aislamiento térmico para tuberías"

### 1.2.6 Eficiencia energética en la refrigeración.

El rendimiento energético de un sistema de refrigeración se expresa generalmente como un coeficiente de rendimiento (COP: Coefficient of Performance) que es el cociente de la tasa de extracción del calor al consumo de la energía.

Para cualquier tipo de sistema de refrigeración es fundamental reducir al mínimo las ganancias de calor y mantener la diferencia entre la temperatura de condensación y la temperatura de evaporación tan pequeña como sea posible. La reducción al mínimo de las ganancias de calor se logra aislando el cuarto refrigerado y las partes de baja temperatura del sistema de refrigeración, reduciendo al mínimo la infiltración del aire exterior (ejemplo hermeticidad y aperturas de la puerta) y el consumo de energía en los equipos auxiliares (ejemplo los ventiladores y los montacargas). La reducción de la diferencia entre la temperatura de condensación y la de evaporación, se obtiene mediante la maximización de la transferencia térmica en el condensador y el evaporador y con la reducción al mínimo de las caídas de presión del refrigerante en las tuberías de succión y descarga. (Dovendra, 2008)

### **1.2.6.1 Influencia de los componentes de un sistema de refrigeración en la eficiencia energética.**

#### *Compresores.*

Los compresores serán menos eficientes si la elevación de la temperatura es más alta que la necesaria y si existe líquido refrigerante en el vapor de la succión o si el vapor de la succión llega a ser demasiado caliente. El mantenimiento del compresor y la preservación de la calidad del lubricante son importantes para mantener la eficiencia energética. Para algunos tipos de compresores (particularmente de tornillo y centrífugo) la variación del rendimiento energético a carga parcial es baja comparado con la carga total, por tanto, la operación sostenida a carga parcial debe ser evitada. La tecnología de variadores de velocidad y los sistemas de control mejorados pueden reducir al mínimo el consumo de la energía y por tanto la disminución del costo de la energía.

#### *Condensadores.*

Para mantener la temperatura de condensación tan baja como sea posible, la transferencia del calor en el condensador debe ser maximizada y la temperatura media de enfriamiento minimizada. Los condensadores evaporativos son a menudo los más eficientes porque rechazan el calor a la temperatura de bulbo húmedo del aire ambiente. Por ejemplo, el aire húmedo a 25°C y humedad relativa del 60% tiene una temperatura de bulbo húmedo de 16°C. Sin embargo, requieren mantenimiento cuidadoso. Los condensadores refrigerados por agua combinados con las torres de enfriamiento, también aprovechan la temperatura ambiente de bulbo húmedo, pero hay un incremento adicional de la temperatura para conducir el calor del refrigerante al agua, así que la temperatura de rechazo del calor del refrigerante, es generalmente más alta. El uso del agua puede ser excesivo si una torre de enfriamiento no se utiliza.

Los condensadores enfriados por aire son generalmente el método menos eficiente pues rechazan calor a la temperatura de bulbo seco del aire, que es perceptiblemente más alta que temperatura del bulbo húmedo o del agua. Sin

embargo, se utilizan en sistemas pequeños, porque son baratos, simples y requieren comúnmente poco mantenimiento.

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

#### *Dispositivos de expansión.*

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

#### *Evaporadores.*

Los evaporadores se deben diseñar para funcionar con la diferencia de temperatura mínima económica de modo que la temperatura del refrigerante para la extracción del calor pueda ser tan alta como sea posible para una temperatura dada de la sustancia. El aumento de la temperatura de extracción del calor también reduce el tamaño del compresor requerido. Así como el tamaño del evaporador, aspectos tales como la distribución del refrigerante, la velocidad, el uso de superficies extendidas, las velocidades del aire (para los enfriadores de aire) pueden afectar perceptiblemente la eficiencia energética.

Los frigoríficos que funcionan a temperaturas bajo cero se deben descongelar regularmente para restaurar su funcionamiento. La descongelación por resistencia eléctrica tiene que “pagarse” por lo menos dos veces, la primera para poner el calor

de la resistencia eléctrica en el enfriador y la segunda para sacarlo hacia fuera otra vez. La descongelación por agua, gas caliente y por la circulación de un líquido caliente a través del enfriador, son todas potencialmente más eficientes.

#### *Interconexiones.*

La eficiencia puede disminuir si se instalan tuberías de dimensiones incorrectas y si se disponen de manera que causan caídas de presión innecesarias.

#### *Importancia de los controles.*

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

- El sobredimensionado de la válvula de descarga de los compresores de tornillo de gran tamaño;
- La interconexión de la descarga con la succión de los compresores.
- Válvulas de paso entre los evaporadores y los compresores.
- Control del evaporador por cierre del suministro de refrigerante.
- Los controles de presión en el cabezal del condensador sólo cuando sean necesarios. (Dovendra, 2008)

#### **1.2.7 Ahorro y eficiencia energética en motores.**

Según cálculos en Europa, más del 60% de la energía eléctrica consumida por una industria está destinada a transformarse en energía motriz mediante motores aplicados a múltiples tareas. Por esta razón, conseguir una elevada eficiencia en este campo supone unos ahorros importantes tanto energéticos como económicos.

En una instalación frigorífica de grandes dimensiones los motores eléctricos son los dispositivos que más frecuentemente son usados y los que por lo general consumen el mayor porcentaje de electricidad. Se emplean en el área de tratamiento de agua en el caso que se utilicen torres de enfriamiento con ventilación forzada o autoventilada, en los compresores que realizan trabajo sobre el refrigerante, en los

ventiladores de renovación de aire y en las bombas de refrigerante y en las de agua para enfriar los compresores, etc.

Para mejorar la eficiencia energética en los motores se debe estudiar la potencia nominal a la que trabajan, para establecer si se pueden sustituir por otros de menor potencia.

**Elegir correctamente la potencia de los motores.** El rendimiento máximo se obtiene cuando se opera entre el 75% y el 95% de su potencia nominal.

**Descubrir los motores de alta eficiencia:** Son motores que transforman prácticamente toda la energía eléctrica que consumen en energía mecánica. Durante su vida útil consumen menos electricidad a una carga dada, son más fiables y tienen menos pérdidas que un motor normal.

**Utilizar variadores de velocidad ajustables:** suponen un importante ahorro eléctrico y menores necesidades de refrigeración en las salas que albergan los motores. Mejoran la flexibilidad de la producción, porque integran numerosas funciones como aceleraciones y deceleraciones programables, frenadas directas o por rampa.

Seleccione adecuadamente la velocidad del motor. Si la carga lo permite, se prefieren motores de alta velocidad, son más eficientes y trabajan con un mejor factor de potencia.

**Corregir la caída de tensión en los alimentadores.** Una tensión reducida en los terminales del motor, genera un incremento de la corriente, sobrecalentamiento y disminución de su eficiencia. Las normas permiten una caída de tensión del 5%. Para ello utiliza conductores correctamente dimensionados.

**Evitar el arranque y la operación simultánea de motores,** sobre todo los de mediana y gran capacidad, para disminuir el valor máximo de la demanda.

**Seleccionar el motor de acuerdo a su ciclo de trabajo:** Operar un motor para servicio continuo, en accionamiento de operación intermitente ocasiona una depreciación de sus características de operación y eficiencia.

**Comprobar que el arranque de los motores se realiza de forma secuencial y planificada.**

**Verificar periódicamente la alineación del motor con la carga impulsada.** Una alineación defectuosa puede incrementar las pérdidas por rozamiento y en caso extremo ocasionar daños mayores en el motor y en la carga.

**Optimizar los sistemas de transmisión:** es importante en la selección del sistema de transmisión conocer las características de cada sistema para adecuarlo a las necesidades específicas.

**Instalar equipos de control de la temperatura del aceite de lubricación** de cojinetes de motores de gran capacidad a fin de minimizar las pérdidas por fricción y elevar la eficiencia. (Optima Grid, 2012)

#### **1.2.7.1 Ahorro de energía con variadores de frecuencia.**

Básicamente, un variador de frecuencia, es un dispositivo electrónico que permite variar la velocidad rotacional de un motor, actuando sobre la frecuencia de la corriente eléctrica.

Pero, ¿a qué es debido esto? Pues sin meternos en muchas profundidades, hay unas fórmulas físicas, denominadas leyes de los ventiladores o de proporcionalidad, que relacionan el caudal, la presión y la potencia eléctrica con la velocidad rotacional del motor.

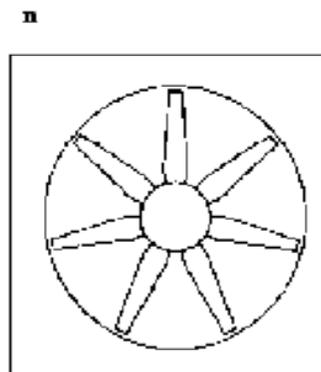
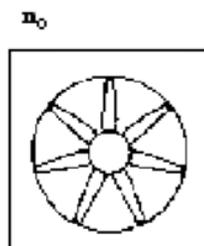
**VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD**

$$\text{Caudal } q_v = q_{v0} \frac{n}{n_0}$$

$$\text{Presión } p_F = p_{F0} \left( \frac{n}{n_0} \right)^2$$

$$\text{Potencia } P_r = P_{r0} \left( \frac{n}{n_0} \right)^3$$

$$\text{Nivel Potencia sonora } L_{wt} = L_{wt0} + 50 \log \frac{n}{n_0}$$



El subíndice cero (0) indica la condición inicial de la variable considerada.

Figura 1.11 leyes de los ventiladores o proporcionalidad. Fuente: Artículo "Ahorro de energía con variadores de frecuencia".

Como se observa en la figura 1.11, si actuamos sobre la frecuencia, variaremos la velocidad de giro de los motores y, en consecuencia, variará también el caudal, la presión, y para ello, será necesario realizar la programación del variador de frecuencia con las características del motor asociado.

#### *Aplicaciones de un variador de frecuencia.*

Las aplicaciones principales serán en los elementos que dispongan de motor eléctrico y cumplan con las leyes físicas descritas en el apartado anterior. Estamos hablando de Ventiladores y Bombas Centrifugas.

En edificación, los ventiladores se utilizan en sistemas de climatización y ventilación, mientras que las bombas centrífugas, se utilizan en circuitos hidráulicos de calefacción, climatización, agua caliente sanitaria, grupos de presión de agua, etc. Se deduce, por lo tanto, la cantidad de elementos en los que se puede actuar con variadores de frecuencia y obtener un gran ahorro de energía.

#### *Cuando reducir la velocidad de los motores.*

Hemos visto que con un variador de frecuencia tenemos la posibilidad de reducir la velocidad de giro de un ventilador o una bomba centrífuga, pero la pregunta que nos podemos hacer es clara ¿cuándo conviene reducir esa velocidad? Pues mostramos cuatro ejemplos de aplicaciones, de las varias que hay:

*Calefacción-Climatización-Agua caliente sanitaria: Bombas de circulación.*

El control de velocidad en bombas de circulación de agua para instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria implica una adaptación, en todo momento, a las condiciones de carga de la instalación, adecuando los caudales y presiones a la demanda de la instalación, garantizando la máxima eficiencia y ahorro energético.

*Fontanería: Grupos de Presión de Abastecimiento de Agua.*

El funcionamiento de un grupo de presión convencional, se regula mediante presostatos, que realizan arranques y paradas de las bombas según las presiones prefijadas.

Los consumos eléctricos son elevados, sin ajustarse su caudal a la demanda del sistema. Si disponemos de variadores de frecuencia, las bombas suministrarán el caudal de agua necesario, adaptándose a la demanda existente en cada momento, y regulando la velocidad de las bombas, con lo que el consumo disminuye considerablemente.

*Ventilación: Control por Ocupación.*

Imaginemos un local donde la ocupación de personas no siempre es la misma; por lo tanto, no necesitaríamos siempre el mismo caudal de aire de impulsión y extracción, ya que, como sabemos, la normativa fija un caudal por persona.

Si disponemos de variadores de frecuencia para los ventiladores, y un sistema de control automático de ocupación, podremos adecuar los caudales al número de personas presentes.(Ver figura 1.12)

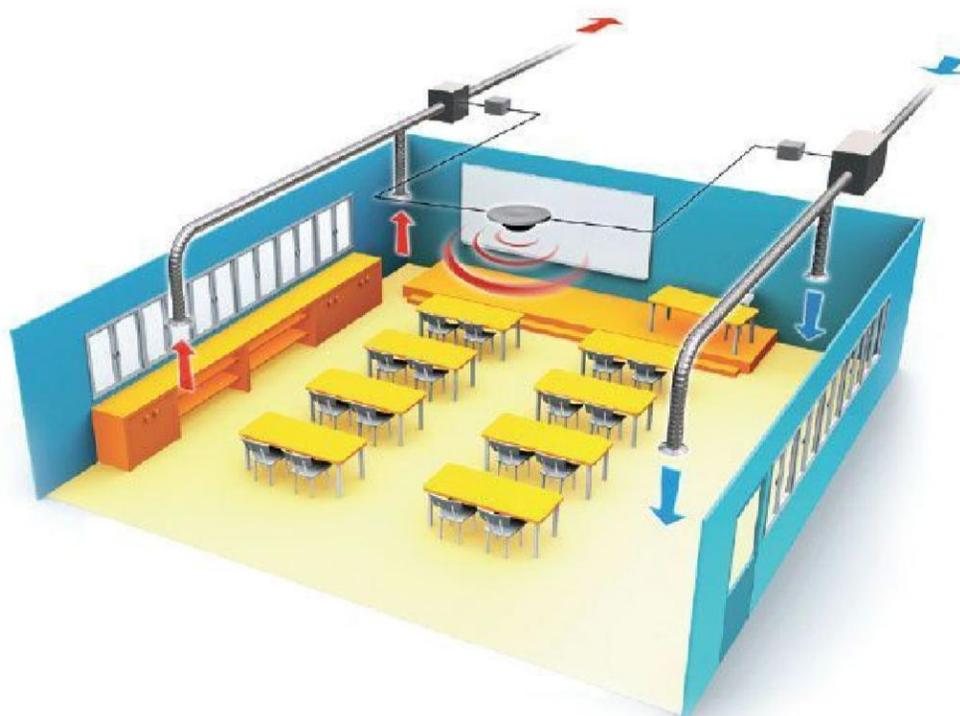


Figura 1.12 Ventilación: Control por ocupación. Fuente: Artículo “Ahorro de energía con variadores de frecuencia”.

#### *Ventilación: Control de Calidad de Aire Interior.*

Como sabemos, la actividad metabólica de las personas, los humos, etc, influyen en la calidad del aire de un local, por lo que necesitaremos más o menos ventilación (más o menos caudal de impulsión y extracción), dependiendo del valor de esos parámetros.

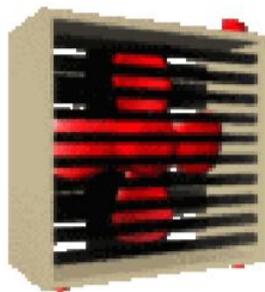
Si disponemos de variadores de frecuencia para los ventiladores, y un sistema de control automático de calidad del aire, podremos adecuar los caudales a las necesidades ambientales del local. (Rivas, 2017)

#### *Ahorro energético que se puede obtener con un variador de frecuencia.*

Los variadores de frecuencia sacan partido de las leyes de proporcionalidad (leyes de ventiladores), para lograr la principal ventaja del uso de estos equipos, que es el ahorro energético. Si se comparan con sistemas de control alternativos, un variador de frecuencia es el sistema óptimo para el control de ventiladores y bombas.

Consideremos un ventilador que, girando a 1.400 rev/min aporta un caudal de 15.000 m<sup>3</sup>/h, siendo la potencia eléctrica absorbida de 1.500 W. Veamos que caudal aportaría el ventilador, si con un variador de frecuencia fijamos un 20% menos de velocidad, es decir, 1.120 rev/min. Aplicando las leyes de proporcionalidad tendremos:

Caudal = 12.000 m<sup>3</sup>/h ( - 20% con respecto a caudal inicial )  
 Potencia = 768 W ( - 48,8% con respecto a consumo inicial )



*Figura 1.13 Ahorro energético con variador de frecuencia. Fuente: Artículo "Ahorro de energía con variadores de frecuencia".*

Por lo tanto, si reducimos la velocidad un 20% con respecto a la velocidad nominal, el caudal también se reduce un 20%; sin embargo, el consumo eléctrico se reduce aproximadamente en un 48,8%. Si el sistema en cuestión, sólo tiene que suministrar un caudal correspondiente al 100% durante unos días al año, mientras que el promedio es inferior al 80% del caudal nominal para el resto del año, el ahorro de energía puede fácilmente superar el 50%. (Ver figura 1.13)

Queda clara la gran eficiencia energética de estos equipos.

#### *Ventajas de un variador de frecuencia.*

Además de la principal ventaja, que es el gran ahorro de energía, los variadores de frecuencia aportan otras ventajas, que no dejan de ser importantes:

- Control Mejorado de Caudal y Presión.
- Corrección del Factor de Potencia del Motor.
- Eliminación de la Energía Reactiva.
- Arranque suave de los motores.

- No es necesario arranques “estrella-triángulo” en motores de gran consumo.
- Menor mantenimiento.
- Eliminación de ruidos por vibraciones.
- No se producirán cavitaciones en las bombas hidráulicas.

### **1.3 Refrigeración industrial.**

La refrigeración es el proceso de extraer calor de un foco frío a otro caliente en un ciclo frigorífico cerrado. El control del aceite, la separación del gas y del líquido, el sub-enfriamiento, el recalentamiento, la conducción de refrigerante líquido y gaseoso y el flujo en dos fases forman parte de la técnica frigorífica. Las áreas de empleo de la refrigeración incluyen el acondicionamiento de aire, la refrigeración comercial y la refrigeración industrial.

#### **1.3.1 Importancia de la refrigeración industrial para conservar los alimentos.**

La necesidad de incrementar el tiempo de almacenamiento de los alimentos, después de su tratamiento o de su recolección para su distribución a los consumidores, ha fomentado el desarrollo de la industria frigorífica. Aunque la refrigeración se aplica a fines distintos de la conservación de los alimentos, su mayor aplicación está en la prevención o retraso de los cambios microbianos, fisiológicos y químicos de los alimentos.

Incluso a temperaturas próximas al punto de congelación, los alimentos pueden deteriorarse por el crecimiento de microorganismos, por cambios ocasionados por la acción de enzimas o por reacciones químicas. El mantenimiento de los alimentos a bajas temperaturas reduce simplemente la velocidad a que se producen los cambios degenerativos.

Las causas de la descomposición de los productos perecederos (alimenticios) se derivan de la específica composición y estructura de estos artículos. El organismo vivo constituye un completo sistema biológico que se halla en equilibrio dinámico. Cuando dicho sistema se altera (sacrificio, transformación), se inicia inmediatamente el desdoblamiento auto-lítico de sus componentes.

En la descomposición de los productos juegan un papel decisivo las circunstancias que se exponen a continuación:

- La alteración de lo que originariamente era una unidad con vida provoca su inestabilidad química y biológica. Cuanto más avanzado es el grado en que se ve trastornada la unidad biológica primitiva, más complejo resulta el sistema residual.
- Los alimentos constituyen sistemas de sustancias inestables, ricas en energía, que forman complejas estructuras. El aporte de energía al organismo vivo sirve para la formación de sustancias corporales que permanecen estables merced a un equilibrio dinámico que se establece entre su constante formación y destrucción. Cuando se interrumpe este aporte de energía gobernado biológicamente, se rompe el equilibrio, produciéndose entonces un desdoblamiento continuado hasta sustancias de baja complejidad estructural.
- Los alimentos constituyen, por añadidura, un medio nutritivo muy propicio para los microbios. Al contrario de lo que sucede en las transformaciones fisicoquímicas que se presentan en las condiciones normales de depósito, los gérmenes y sus productos metabólicos son capaces de descomponer por completo los alimentos en breve espacio de tiempo.

Se consideran descompuestos los alimentos como consecuencia de alteraciones químicas, microbiológicas o auto-enzimáticas cuando:

- El consumo de alimento puede provocar daños en la salud del consumidor por productos tóxicos de desdoblamiento.
- Las características organolépticas del alimento están tan desviadas de lo que se entiende por estado óptimo, que su aprovechamiento comercial resulta notablemente restringido o incluso impedido.

Sobre la base de los mencionados procesos de descomposición, todos los métodos de conservación de alimentos fácilmente perecederos pueden fundamentarse en las siguientes medidas:

Interrupción del crecimiento microbiano, así como reacciones químicas y enzimáticas utilizando bajas temperaturas.

- Destrucción de enzimas y sustancias generadoras de éstos mediante temperaturas elevadas o por la acción de radiaciones.
- Anulación de actividad enzimática y del desarrollo microbiano mediante sustracción de humedad.
- Alargamiento de reacciones químicas sustrayendo aire y oxígeno, y por neutralización de importantes productos de la reacción (mediante antioxidantes).

Las medidas orientadas a conservar la calidad pueden emplearse tanto aisladas como en combinación.

La misión más importante de los métodos que recurren al empleo del frío, como son principalmente todos los sistemas de conservación de alimentos, estriba sobre todo en crear unas condiciones que imposibiliten la multiplicación de los microorganismos, o bien reducir ésta a su mínima expresión, y en segundo lugar en atenuar lo más posible las transformaciones físico-químicas y bioquímicas.

Otras premisas necesarias para que los productos perecederos tratados por el frío exhiban características óptimas de calidad son:

- Una alta calidad inicial.
- Bajas tasas de gérmenes en la superficie.
- Aplicación lo más rápidamente posible de un tratamiento por el frío de acuerdo con los más modernos conocimientos científicos.

Debe señalarse a este respecto que, incluso con un tratamiento óptimo por el frío, la calidad inicial del producto es un punto con influencia decisiva sobre la calidad del producto final, ya que con el tratamiento frigorífico se consigue conservar la calidad, pero en ningún caso se puede mejorar ésta. (Dovendra, 2008)

### **1.3.2 Clasificación y descripción de los componentes de una instalación frigorífica.**

#### *Compresor.*

El compresor constituye el corazón del circuito de refrigeración. Tal y como el corazón en el cuerpo humano, el compresor mantiene en el circuito la circulación del flujo refrigerante. Se puede decir por tanto que la función del compresor es la de tomar el vapor refrigerante a baja presión y a baja temperatura y llevarlo a valores más elevados de presión y temperatura.

#### *Compresor alternativo (Reciprocante).*

En los compresores alternativos uno o más pistones recorren el interior del cilindro, tal y como sucede en los motores de automóvil, efectuando a aspiración y la compresión del gas refrigerante. Cada uno de los cilindros dispone al menos de una válvula de aspiración de gas refrigerante (a través de la cual el gas accede al cilindro durante la fase de aspiración) y de una válvula de descarga a través de la cual el gas refrigerante descarga hacia el condensador después de haber sido comprimido. El compresor alternativo se denomina abierto cuando uno de los extremos del cigüeñal (que efectúa el arrastre de los pistones) sale al exterior del cuerpo del compresor.

El compresor abierto puede estar acoplado al motor eléctrico de dos maneras: mediante polea y correa o de modo directo mediante acoplamiento elástico.

Con el acoplamiento polea-correa se puede obtener cualquier velocidad de rotación para el compresor, variando simplemente la relación entre el diámetro de las dos poleas. El número de correas a emplear depende de la potencia manejada. Con el acoplamiento directo el compresor es arrastrado a la misma velocidad del motor eléctrico, la cual depende de la frecuencia de la tensión de alimentación.

El compresor puede también venir acoplado directamente a motores de combustión interna para aplicaciones sobre transporte frigoríficos, autobuses acondicionados, etc. El compresor alternativo se denomina semi-hermético cuando el motor eléctrico

y el propio compresor están instalados dentro de una misma envolvente inspeccionable para el mantenimiento.

Las culatas de los cilindros quedan normalmente accesibles para el mantenimiento. Es importante anotar que el eje del motor y el cigüeñal del compresor constituyen un todo único. En estos compresores el gas refrigerante a baja temperatura aspirado del evaporador tiene la misión de refrigerar el devanado del motor antes de pasar a la fase de compresión. El compresor semi-hermético encuentra hoy un amplio campo de aplicaciones tanto en máquinas de acondicionamiento como en los grupos refrigeradores de agua. El objetivo de este tipo de construcción es la de impedir la entrada de aire y polvo; por otra parte, la posibilidad de acceso para el servicio permite intervenir fácilmente en caso de avería.

El compresor alternativo se denomina hermético cuando motor y compresor se encuentran instalados dentro de una misma envolvente soldada y sellada. De este modo no existe la posibilidad de acceso para el servicio a la parte interna. También en este tipo de compresores herméticos el árbol del motor y el cigüeñal constituyen un todo único. El gas refrigerante aspirado refrigera también los devanados del motor antes de ser comprimido.

Los compresores herméticos son ampliamente utilizados hoy en frigoríficos y congeladores domésticos, acondicionadores de ventana, unidades de acondicionamiento de mediana potencia y grupos refrigeradores de agua.

#### *Evaporador.*

El evaporador es otro de los elementos importantes de toda instalación frigorífica, por ser donde se produce el efecto frigorífico que se desea obtener. Definiendo los evaporadores de un modo general, diremos que son unos recipientes cerrados de paredes metálicas de se efectúa la ebullición del refrigerante líquido que procede del equipo compresor, con la consiguiente absorción de las calorías contenidas en la nevera, cámara o depósito a enfriar.

#### *Enfriador de Aire.*

El enfriador de aire es el intercambiador de calor dedicado al enfriamiento del aire en el que este último se mueve por circulación forzada mediante un ventilador centrífugo o axial acoplado directamente o a través de conductos al cuerpo del equipo. Los enfriadores de aire pueden ser secos, húmedos o combinados. Los primeros se denominan también de superficie.

Para los tubos de los enfriadores secos circula refrigerante primario en ebullición o secundario (agua, salmuera). Para aumentar la transmisión de calor y hacerlos más compactos los enfriadores de aire se fabrican de tubos con aletas en su superficie exterior fundamentalmente. Éstos son los enfriadores de aire que más se han propagado en la refrigeración comercial e industrial.

Los enfriadores de aire húmedo se caracterizan por el contacto directo entre el refrigerante y el aire (frecuentemente agua) y se construyen con rociadores (atomizadores) o con dispositivos de dispersión del agua (rellenos de geometría variable).

En los enfriadores de aire combinados se evapora refrigerante en el interior de los tubos y en la superficie exterior de éstos se rocía con salmuera u otra solución de baja temperatura de congelación. (En aire acondicionado se usa el agua a veces.) El rociado crea una superficie adicional de intercambio de calor, y a bajas temperaturas el líquido rociado favorece la eliminación de la escarcha de la superficie de los tubos.

Los enfriadores de aire de superficie pueden ser fabricados de tubos sin o con aletas. Los enfriadores con tubos sin aletas se utilizan actualmente en muy raros casos, sólo cuando la formación de escarcha o hielo es muy intensa o considerable. La velocidad del aire en el área libre entre los tubos sin aletas llega a 6 m/s.

Los enfriadores de aire con aletas pueden clasificarse por el tipo de aleta utilizada. Las aletas pueden ser: de lámina o placa, helicoidales montadas y repujadas, individuales montadas y fundidas de aluminio y sus aleaciones en tubos de acero sin costura.

Estas últimas son de mayor contacto con el tubo portador y permiten crear un óptimo perfil que garantice la máxima eficiencia de la transmisión de calor y la resistencia hidráulica más baja.

Los enfriadores secos pueden ser horizontales o verticales por su forma de ejecución, de consola y colgados por el método de instalación, de una o de varias secciones de por la cantidad de módulos conectados en paralelo. Las baterías de los enfriadores son de serpentines generalmente con colectores de líquido y vapor que los unen en paralelo.

Los enfriadores de aire húmedos se aplican fundamentalmente en las instalaciones de acondicionamiento de aire industriales, especialmente donde son altos y diversos los requisitos respecto a los regímenes de temperatura y humedad del aire, pero en otras instalaciones ellos también presentan ventajas sobre los enfriadores de aire secos. En primer lugar, trabajando a temperaturas negativas en los enfriadores húmedos no existe escarcha, pues no tienen superficie estable para su deposición y, en segundo lugar, son más sencillos y ligeros al no tener intercambiadores de calor tubulares, lo que también resta la resistencia térmica de dicha superficie.

Los enfriadores de aire combinados, como su nombre señalan, utilizan los principios de trabajo de los enfriadores de aire secos y húmedos. La superficie se rocía con la sustancia secundaria aumentando así la efectividad térmica. El intercambio de calor tiene lugar entre el aire y la película de líquido que cubre los tubos y aletas y entre el aire y el líquido en el espacio inter-tubular. El rociado con líquido evita la deposición de escarcha sobre los tubos y aletas.

#### *Condensador y torre de refrigeración.*

El condensador es otro componente en el sistema; transfiere calor de un lugar en donde no es deseado a un lugar donde no hay inconveniente; transfiere el calor desde el refrigerante a un medio que puede absorberlo y removerlo.

#### *Condensador de carcasa y tubo, vertical, de tipo abierto.*

El agua se distribuye sobre la cabeza del condensador, entra a cada tubo y fluye hacia debajo de la superficie interior. Este condensador, se encuentra normalmente en plantas de amoníaco medianas o grandes. Sus ventajas son, su bajo costo de mantenimiento y la accesibilidad de sus tubos para limpieza durante la operación. Este condensador es el menos eficiente de todos los tipos de condensadores de enfriados por agua y requiere una unidad mayor para una capacidad equivalente.

*Torre de Agua (Torre de enfriamiento).*

La función de la torre, es recoger el calor cedido por el condensador y descargarlo a la atmósfera, que lo realiza mediante evaporación.

La evaporación de agua sobre cualquier superficie, retira calor de esta, en el vapor de agua que se produce. Este calor se llama calor latente de vaporización. El aire cuando absorbe calor del agua en esta forma, es capaz de enfriar agua por debajo de la temperatura atmosférica.

La humedad relativa es la relación de la cantidad de vapor de agua con respecto a la mayor cantidad de vapor que contendría el aire si estuviera saturado. Cuando la humedad relativa es 100% el aire no puede contener más agua y por consiguiente el agua no se evaporará. Pero cuando la humedad relativa del aire es menos de 100% el agua se evaporará de la superficie de un objeto, bien sea un lago, una esponja húmeda o las gotas de agua que caen de una torre de enfriamiento.

Cuando la humedad relativa es 100 %, la temperatura de bulbo seco es igual a la de bulbo húmedo. Pero cuando la humedad es menos de 100% la temperatura de bulbo húmedo será menor que la de bulbo seco, ya que el agua se evaporará de la tela y retirará calor latente del bulbo enfriándolo bajo la temperatura de bulbo seco. Cuanto más seco esté el aire, mayor será la diferencia entre las temperaturas de bulbo seco y húmedo y más fácil será que se evapore el agua.

La operación de la torre de enfriamiento no depende de la temperatura de bulbo seco. La habilidad de la torre de enfriamiento para enfriar agua es una medida de la facilidad de disminuir la temperatura del agua hasta la temperatura de bulbo húmedo

del aire ambiente. A menor temperatura de bulbo húmedo (lo cual indica aire fresco, humedad baja o una combinación de las dos) más puede la torre enfriar el agua. Es importante recordar que ninguna torre de enfriamiento puede enfriar el agua por debajo de la temperatura de bulbo húmedo del aire que entra. En la práctica real, la temperatura final del agua estará unos pocos grados por encima de la temperatura de bulbo húmedo, dependiendo de las condiciones de diseño. La temperatura de bulbo húmedo seleccionada al diseñar una torre de enfriamiento para el servicio de aire acondicionado o refrigeración es usualmente cercana a la temperatura de bulbo húmedo máxima promedio, para los meses de verano en una localización dada.

Existen dos tipos de torres de enfriamiento; de tipo de tiro mecánico y de tiro natural. Una torre de tiro mecánico utiliza un ventilador para mover el aire a través de la torre siendo el ventilador parte integral de la torre. Una torre de tiro natural es aquella en la cual el movimiento del aire a través de la torre depende de las condiciones atmosféricas (viento).

Cuando el agua al ser enfriada llega a las torres de enfriamiento de tiro mecánico, contiene calor que ha sido recogido en el condensador de la unidad de refrigeración o aire acondicionado. El agua entra a la torre por el cabezal superior de distribución. Luego fluye a través de agujeros en el recipiente de distribución y dentro de la torre, lleno de barras alternadas, las cuales retardan la caída de agua y la rompen en pequeñas gotas. Mientras tanto, este aire pasa sobre cada gota y la evaporación resultante transfiere calor del agua tibia al aire. Finalmente, que cae se enfría y se recolecta en el recipiente del fondo de la torre. Luego es bombeada al condensador enfriado por agua a recoger más calor.

Cuando el agua de enfriamiento llega a la torre de enfriamiento de tiro natural, se conecta a la parte superior donde entra a las toberas de aspersion. Estas toberas rompen el agua en finas gotas. La brisa natural que se mueve a través de los lados de la torre con rejillas, provee la acción de ventilación cuando caen las gotas. Enfriando el agua, es recogido en un recipiente en el fondo de la torre y bombeado para que realice de nuevo su trabajo de enfriamiento.

La torre de tiro natural depende de las toberas que rompen el agua. Esta torre no tiene relleno ni ventilador y su tamaño, peso y requisitos de localización (comparadas con las torres de tiro mecánico) han reducido su uso considerablemente.

El comportamiento óptimo de un sistema de condensador enfriado por agua y torre de enfriamiento depende principalmente de un mantenimiento regularizado. El crecimiento de las incrustaciones o de algas, lo cual reduce la transferencia de calor, debe evitarse. El pentaclorofenolato de sodio, que se encuentra bajo varias marcas comerciales, es efectivo para mantener la torre libre de estos organismos. El sulfato de cobre es también satisfactorio, pero es corrosivo si está demasiado concentrado. Los permanganatos de cloro y potasio, son también satisfactorios. El éxito de cualquier tratamiento descansa en que se comience temprano y que se haga con regularidad. Una vez que se formen incrustaciones es muy costoso retirarlas.

#### *Válvula de expansión.*

La válvula de expansión se encuentra en el final de la línea de líquido antes del evaporador. Líquido de alta presión llega a la válvula procedente del condensador. La válvula se encarga de reducir la presión del líquido resultando también en una reducción de la temperatura del mismo líquido y permite el flujo de refrigerante al evaporador a la razón necesaria para remover el calor de la carga. Después de este proceso el líquido de baja presión pasa al evaporador. Entre los dispositivos de expansión existen: la válvula de expansión automática, válvula de expansión termostática, el tubo capilar y por último la válvula de expansión manual. En el frigorífico agropecuario de Cienfuegos se utilizan la válvula de expansión manual.

#### *Válvula de expansión manual.*

Son válvulas de aguja que constan de una varilla metálica que acaba en una punta cónica. La varilla se regula con un tornillo pudiendo aproximarse más o menos el conducto de circulación del fluido frigorífico. Su función primaria es regular la entrada del fluido frigorífico en el evaporador y mantener la diferencia de presión

necesaria entre los lados de alta y baja presión del sistema. También regula el caudal del refrigerante que va al recipiente y luego al enfriador de aire.

### *Separador de aceite.*

Todos los sistemas de refrigeración están diseñados de modo que cierta cantidad de aceite se encuentre siempre en circulación. Aunque los sistemas bien diseñados resultan, en la mayoría de los casos, efectivos en la resolución del problema de retorno de aceite, existen sin embargo ciertos sistemas en donde el empleo de los separadores de aceite proporcionar ciertas ventajas.

El separador de aceite tiene su mayor utilización en:

- En los sistemas en donde es imposible evitar la absorción sustancia de refrigerante en el aceite del cárter durante los periodos de detención del sistema. - Los sistemas múltiples que utilizan evaporadores que funcionan sobre amplia gama de temperaturas de evaporación.

-Los sistemas de baja temperatura, en donde se desea la caída de presión baja, dando por resultado reducidas velocidades de refrigerante.

-Los sistemas que tienen interceptores de aceite considerables, grandes conductos de unión o elevadores de succión de tamaño inadecuado.

-Todos los sistemas completamente inundados.

-Los sistemas que emplean cierto tipo de reducción de capacidad, en donde la velocidad de gas puede, en ciertas ocasiones, se inferior al mínimo de seguridad.

La pérdida de velocidad de la mezcla gas-aceite al pasar a través del separador es el factor principal en la separación específica del aceite. Por tanto, la relación entre el volumen y las secciones de conexionado del separador de aceite son importantes.

El separador debe ser montado firmemente y en posición vertical cerca del compresor, en la línea de descarga y antes del condensador. La tubería procedente del compresor se une a la conexión del separador y la conexión de la salida del

mismo a línea de entrada del condensador. La conexión más pequeña del separador corresponde a la línea de retorno del aceite al cárter del compresor. (Dovendra, 2008)

### **1.3.3 Caracterización del amoníaco como sustancia de trabajo en sistemas de refrigeración industrial.**

*El amoníaco fluido del futuro.*

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

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

Los signatarios del Protocolo de Montreal acordaron reducir y eliminar el uso de los CFC, aunque no se hubieran desarrollado completamente refrigerantes sustitutos ni tecnologías alternativas.

Industrias y fabricantes están comenzando a reemplazar los CFC por sustancias menos nocivas, pero un obstáculo importante en éste proceso de conversión es la falta de información actualizada y precisa sobre los problemas relacionados con los sustitutos de los CFC y las tecnologías sin CFC.

Las enmiendas de Londres al Protocolo reconocieron la ayuda financiera y económica que necesitarían los países en desarrollo y crearon el Fondo Multilateral Provisorio (IMOF) para proporcionársela, el PNUMA se encargó de las responsabilidades específicas para llevar a cabo el IMOF y creó el Programa Acción Ozono dentro del Centro de Actividades del programa Industria y Medio Ambiente del PNUMA (CAP/IMA) para realizar el intercambio de información y capacitación y para actuar como agencia distribuidora de información. Una de las tareas más importantes de éste programa es asegurarse de que todos los que lo necesitan entiendan claramente los problemas relacionados con la sustitución de los CFC y sepan cómo obtener la información y asistencia que puedan necesitar para hacerlo.

*El amoníaco, excelente fluido frigorífico.*

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

- a) Posee buenas propiedades termodinámicas, de transferencia de calor y de masa, en particular dentro de las condiciones definidas de servicios y el coeficiente de actuación de máquinas es uno de los mejores.
- b) Es químicamente neutro para los elementos de los circuitos frigoríficos, salvo para el cobre y sus aleaciones que son materiales ampliamente usados en las instalaciones con fluidos halogenados. Es por eso que no se debe cargar amoníaco en los circuitos con refrigerantes halogenados.
- c) El amoníaco no se mezcla con el aceite de lubricación.

- d) No es sensible a la presencia de aire húmedo o del agua.
- e) Es fácilmente detectable en caso de fuga así sea muy leve, de esta forma es muy difícil tener una falla del circuito por vaciado progresivo de la instalación.
- f) El amoníaco es el fluido frigorífico de menor costo en su valor de compra.
- g) Las máquinas frigoríficas a amoníaco son de un precio muy competitivo en inversión inicial y costo de funcionamiento (buen aprovechamiento de la energía).

#### *El amoníaco y el medio ambiente.*

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

De todos los sustitutos actualmente disponibles, el amoníaco es el único refrigerante que no afecta la capa de ozono (ODP=0) y no provoca efecto invernadero, siendo un compuesto a base de átomos de hidrógenos y la molécula no tiene presencia de átomos de cloro o de bromo.

En caso de ser vertido en estado líquido se evapora en forma prácticamente instantánea, ya que su temperatura de ebullición a la presión atmosférica es a  $-34^{\circ}\text{C}$  y por ello no hay riesgo de contaminación de aguas subterráneas o de superficie.

#### *El interés tecnológico y económico del amoníaco.*

El interés tecnológico y económico del  $\text{NH}_3$  es grande en su utilización como refrigerante y está ampliamente confirmado en la práctica cotidiana mediante millones de usuarios de grandes y medianas instalaciones.

Como desventaja es imposible de reemplazar por  $\text{NH}_3$  el fluido de un circuito cargado con R22 en razón de los materiales utilizados en la construcción de estos equipos (cobre y sus aleaciones).

En caso de utilizarse  $\text{NH}_3$  para instalaciones de aire acondicionado, por razones de seguridad, deberá usarse un fluido calo portador intermediario.

Es así que el Instituto Internacional del Frío (IIF) recomienda vivamente que las autoridades de los países inciten a los laboratorios públicos y a las sociedades industriales a desarrollar nuevas máquinas aptas para funcionar con amoníaco, con el fin de ampliar el campo de utilización del amoníaco en condiciones de seguridad y rendimientos óptimos.

Ampliando las consideraciones vertidas, podemos acotar que firmas líderes mundiales tales como Dupont cambió su sistema a NH<sub>3</sub>. Por su parte Nestle Suiza ha creado una División Ecológica la cual determinó reemplazar los freones por NH<sub>3</sub> en todo el mundo.

En EEUU el 81% de los almacenes frigoríficos utilizan amoníaco. En Alemania alrededor del 65% de todos los equipos que se produjeron en el año 1987 contenían amoníaco, aumentándose paulatinamente ésta cifra en los últimos años. (Dovendra, 2008)

#### **1.3.4 Indicadores para el desempeño energético en frigoríficos. Norma NC 1072: 2015. Climatización industrial – Indicadores para el desempeño energético.**

Un indicador de desempeño energético (IDEn) es lo que tradicionalmente conocemos como indicador de consumo. Un IDEn es un valor cuantitativo que pretende medir y aportar información sobre el desempeño energético de una organización. Es fundamental contar con IDEns apropiados para saber el comportamiento energético de una organización y si el camino por el cual se transita es el de la eficiencia energética.

Los IDEns más comunes para el sector industrial específicamente para las instalaciones frigoríficas son los siguientes:

*Consumo energético/Cantidad de producto refrigerado.*

Este es el IDEn por excelencia del sector industrial. Variando en la fórmula numerador y denominador, obtenemos las múltiples variantes utilizadas en la industria:

✓ Variantes del numerador: consumo energético

Variando el numerador o tipo de consumo que irá en la fórmula del IDEn, podemos establecer diferentes indicadores:

1. Consumo total/cantidad de producto refrigerado, si partimos de la energía total consumida en la organización.
2. Consumo eléctrico/cantidad de producto refrigerado, Consumo de energía térmica/cantidad de producto refrigerado, Consumo de energías renovables/cantidad de producto refrigerado, si el análisis se centra en el consumo de cada una de las fuentes de energía empleadas en la organización.
3. Consumo de la línea de X producto/cantidad de producto refrigerado, Consumo del proceso Y /cantidad de producto refrigerado, Consumo del equipo Z/cantidad de producto refrigerado, si queremos hacer seguimiento del consumo de energía (sea del tipo que sea) para un determinado proceso, línea de producción, instalación, máquina o equipo.

✓ Variantes del denominador: cantidad de producto refrigerado.

En cuanto al denominador de la fórmula, es evidente que la expresión del indicador será diferente dependiendo del producto considerado y de las unidades en las que se mida éste, por ejemplo:

4. Consumo energético/número de unidades refrigeradas, Consumo energético/toneladas refrigeradas, Consumo energético/número de lotes refrigerados, Consumo energético/litros refrigerados, y así sucesivamente con los diferentes tipos de productos industriales y sus respectivas unidades.

Por otro lado, atendiendo a la fase de fabricación en la que se encuentra el producto, también es posible establecer IDEns (Indicadores de desempeño energético) diferentes, por ejemplo:

5. Consumo energético/cantidad de producto total refrigerado, si nos fijamos exclusivamente en el producto total que obtiene la organización.
6. Consumo energético/cantidad de subproducto A, Consumo energético/cantidad de subproducto B; si atendemos a la cantidad de subproductos o productos intermedios refrigerados en un proceso o línea de producción. (Corporación Smarkia, 2016)

#### **1.3.4.1 Norma NC 1072: 2015 Climatización industrial – Indicadores para el desempeño energético.**

La norma cubana 1072 del 2015, establece indicadores y requisitos necesarios para mejorar el desempeño en las instalaciones de refrigeración industrial. Establece que las organizaciones con instalaciones frigoríficas que su capacidad sea superior a los 175 kW (50 TR) deben acogerse a los indicadores de desempeño que se proponen en ella en el caso de que se hagan nuevas inversiones, remodelaciones y ampliaciones.

*Indicador del desempeño energético (IDE).* Es la potencia eléctrica instalada ( $N_e$ ) en kW, por unidad de capacidad frigorífica o demanda de carga térmica ( $\emptyset_a$ ) de la instalación de climatización industrial en kW (TR).

$$IDE = \frac{N_e}{\emptyset_a} \text{ en kW/kW (kW/TR)}$$

*Ecuación 1.1*

$N_e$ : es la potencia eléctrica instalada de los motores de los compresores, condensadores, climatizadores y bombas de la instalación de climatización industrial requerida para su funcionamiento. No se toma en cuenta la potencia de los motores de los equipos de reserva de la instalación.

$\emptyset_a$ : es la demanda máxima de carga térmica para el edificio o local climatizado.

Las instalaciones de climatización industrial se diseñan con un IDE menor o igual a 0,17 kW/kW (0,6 kW/TR).

*Razón de eficiencia energética (REE).* Es la carga térmica ( $\emptyset_a$ ) en kW (BTU/h) por unidad de potencia instalada ( $N_e$ ) en kW (W).

$$REE = \frac{\phi_a}{N_e} \text{ kW/kW (BTU/h/W)}$$

Ecuación 1.2

Las instalaciones de climatización industrial se diseñan con un REE menor o igual a 5,88 kW/kW (20 BTU/h/W).

*Densidad de flujo. Flujo de calor por unidad de superficie (q).*

$$q = \frac{\phi}{A} \text{ en W/m}^2 \text{ (kcal/h/m}^2)$$

Ecuación 1.3

$\phi$ : es la cantidad de calor por unidad de tiempo que atraviesa la superficie de la pared, piso o techo.

A: es el área de transferencia de calor perpendicular al flujo de calor de la pared, piso o techo.

La envolvente del edificio en los locales climatizados se diseñará con una densidad de flujo (q) igual o menor a 5,8 W/m<sup>2</sup> (5 kcal/h /m<sup>2</sup>). (Oficina Nacional de Normalización, 2015)

### **Conclusiones parciales.**

1. Un sistema de gestión energética es un conjunto de elementos interrelacionados que interactúan para establecer una política y objetivos energéticos, procesos y procedimientos para alcanzar esos objetivos. Para implementarlo satisfactoriamente es preciso que esté involucrado en todas las etapas del proceso productivo de la organización, en cualquier cambio en el control de procesos y en el desarrollo de nuevos proyectos.
2. La NC ISO 50001:2011 especifica los requerimientos de un sistema de gestión de la energía para que una organización desarrolle e implemente una política energética, establezca objetivos, metas y planes de acción, los cuales tengan en cuenta requerimientos legales y la información referente a los usos significativos de la energía.
3. La senda hacia la eficiencia energética tiene que ir direccionada hacia la adopción de estrategias que incluyan: uso de energías renovables, diversidad energética, cambio de hábitos e innovación tecnológica. En el

caso de los sistemas de refrigeración industrial una baja temperatura de condensación y una alta temperatura de evaporación son aspectos claves que influyen en la eficiencia energética.

4. La definición de indicadores de desempeño energético resulta fundamental para la implementación de sistemas de gestión energética efectivos. En el sector industrial existen referencias internacionales sobre los IDEns (Indicadores de desempeño energético) que relacionan la actividad productiva medida como la cantidad de productos almacenados (o su volumen) y el consumo energético correspondiente.
5. La norma de climatización industrial Norma NC 1072: 2015 resulta aplicable para instalaciones de más de 175 kW (50 TR) y plantea IDEns (Indicadores de desempeño energético) y el rango dentro de los que se deben encontrar estos para que se considere que se opera eficientemente. Estos rangos son más apropiados para la etapa de diseño, pero pueden emplearse como referencia para alcanzar las condiciones óptimas para una operación eficiente de instalaciones frigoríficas.
6. El ahorro máximo que se puede conseguir en una instalación insulada con respecto a una sin insular está en torno a un 85-90%; siempre que sea correctamente calculado el espesor y seleccionado el material adecuado.
7. La instalación de variadores de frecuencia representa una gran ventaja en instalaciones en el que el uso de los motores eléctricos sea considerable y puede ser decisivo en el logro de la eficiencia energética.

# *CAPITULO II.*

## Capítulo 2 : Caracterización energética de la instalación Frigorífico Cienfuegos.

### 2.1 Caracterización de la empresa.

La entidad tiene sus antecedentes en los años 80 cuando por decisión del Gobierno y la dirección del Partido Comunista de Cuba y la del Ministerio de la Agricultura (MINAGRI) en la provincia se comienza el proceso constructivo de un frigorífico. En marzo del año 1984 se inaugura como tal con 4 cámaras de refrigeración para el almacenamiento de papa. El medio refrigerante siempre ha sido el amoniaco, con una tecnología europea de la década del 70, la que dispone de torres de agua de enfriamiento que son altamente consumidoras de energía y agua. Por acuerdo No. 2732 de fecha 2 de febrero de 1994 del Consejo de Estado y del Consejo de Ministros fue creada la Corporación Nacional de Cítricos Caribe S.A., constituida por 14 empresas, concretándose dicho acuerdo el 16 de febrero de 1994, fecha reconocida como la de creación de estas organizaciones. Posteriormente, en el año 1994 se constituye La Sociedad Mercantil anónima Cítricos Caribe S.A perteneciente al MINAGRI (Ministerio de la Agricultura) y es en marzo del año 1999 que La Junta General de Accionista de Cítricos Caribe S.A. crea y constituye la Filial Frigorífico Cienfuegos como una entidad de la asociación con independencia económica y personalidad jurídica propia.

Esta instalación se ubica en la Zona Industrial No. 2 en la carretera de O'Bourke perteneciente al Consejo Popular O'Bourke en la zona costera del lóbulo norte de la Bahía de Cienfuegos, en las áreas recuperadas al mar por la ampliación del puerto de Cienfuegos. Limita por el sur con el muelle de la Empresa de Servicios Portuarios del Centro (ESPC) perteneciente al MITRANS (Ministerio del Transporte), por el norte con áreas de almacenamiento a cielo abierto de la ESPC, por el oeste con espacios vacíos de la propia empresa y por el este con áreas de almacenamiento a cielo abierto de la Empresa de Servicios Portuarios del Centro.

Desde su creación ha tenido como función principal la de brindar servicios de conservación de alimentos provenientes directamente del sector agropecuario

fundamentalmente cítricos y papas, así como frutas y vegetales, con el propósito de la exportación y la comercialización en el país. Tiene una superficie de 29638.08 m<sup>2</sup>, de ella ocupada (construida) 15292.55 m<sup>2</sup>, la estructura de las oficinas y las 8 cámaras frigoríficas son de hormigón prerefrigerado y ocupa un área como objeto de obra de 12558 m<sup>2</sup>.

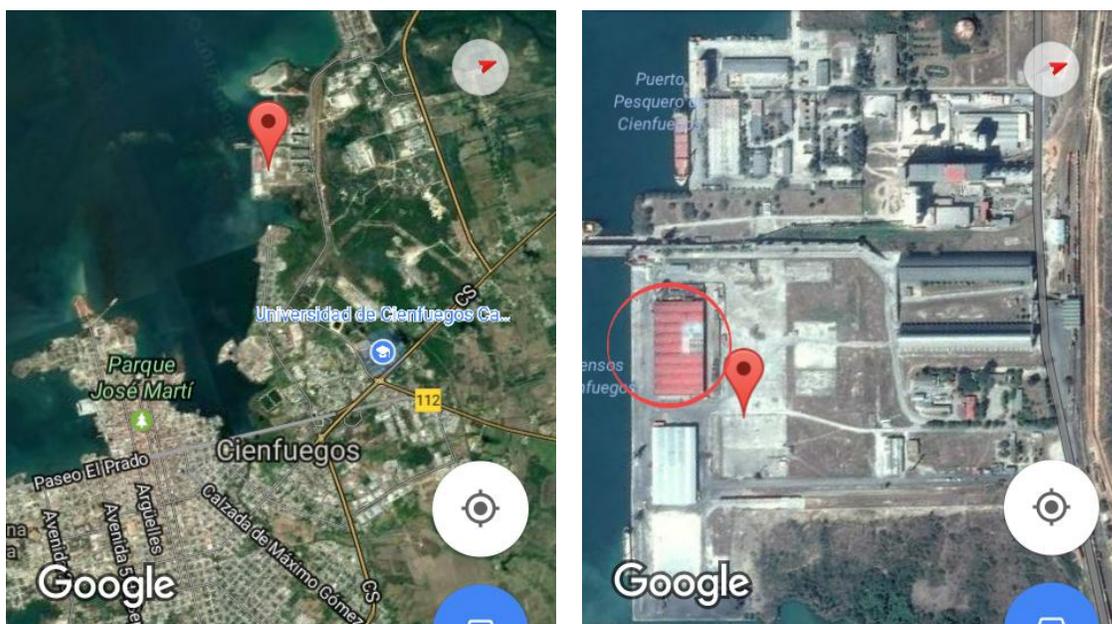


Figura 2.1 Imágenes satelitales de la ubicación de Frigorífico Cienfuegos. Fuente: Servicio de Google Maps.

### **Objeto Social.**

Asegurar la Climatización, Refrigeración y Exportación de frutas frescas, jugos simples y concentrados derivados del cítrico, así como el almacenaje de la papa para el consumo de la población.

### **Misión.**

Cumplir el Objetivo Social aprobado por el Ministerio de Economía y Planificación (MEP) en fecha 17 de diciembre 2005, cuyas direcciones principales son las siguientes:

- Exportar según la Nomenclatura aprobada por el MINCEX (Ministerio de Comercio Exterior) en divisas.

- Comercializar de forma mayorista en moneda nacional y divisas, las producciones de las entidades que integran el Grupo Agrícola (GAG).
- Prestar servicios de conservación de alimentos en moneda nacional y pesos convertibles.
- Prestar servicios de almacenamiento en moneda nacional.
- Comercializar de forma minorista artículos industriales y víveres a los trabajadores de la Empresa a través de la Tienda de Estímulo, en moneda nacional.
- Prestar servicios de almacenamiento en moneda nacional, de comedor, cafetería, reparaciones menores de equipos, construcción y reparación de viviendas.

### **Visión.**

- Lograr el funcionamiento eficiente de la Empresa.
- Contar con una imagen novedosa y eficaz, capaz de satisfacer demandas y necesidades fundamentales de la población, así como los programas priorizados por el país.
- Alcanzar alta per cápita en bienes de consumo y servicios contribuyendo al fortalecimiento de la moneda nacional (peso cubano), en correspondencia al desarrollo socioeconómico del país.
- Contar con un sistema más perfeccionado en la protección al consumidor, que se caracteriza por una correcta comunicación y retroalimentación al cliente.
- Transformar la imagen de la unidad élite que presta servicios gastronómicos al territorio.
- Rescatar las actividades de recreación sana con la participación de otros organismos.
- Lograr un mayor control de los recursos materiales y financieros, a través de la utilización de las nuevas tecnologías de la información.
- Lograr el mejoramiento de la gestión económica y preservación del medio ambiente.

- La Gestión del capital humano ha aumentado su eficiencia en todas las actividades, a partir del incremento de la productividad y la preparación de los cuadros y trabajadores, vinculando sus ingresos personales a los resultados finales de la gestión.
- Fortalecer los sistemas de reservas estatales.

### **Principales procesos de la organización.**

- Higienización y puesta a punto de las cámaras de refrigeración.
- Recepción de productos.
- Inspección de aceptación.
- Almacenamiento y conservación.
- Entrega.

### **Productos.**

La instalación conserva productos agrícolas y de la industria conservera en sus naves frigoríficas para su ulterior comercialización como frutas frescas (naranja y toronja), papas, jugo concentrados de naranja y toronja, pulpa de mango, harina de trigo, sémola, cacao, leche en polvo, grasa vegetal, cebolla, col, chícharos, frijoles, latas de conservas.

### **Descripción de los procesos de la organización.**

#### **Recepción y almacenamiento de los productos a conservar.**

Los productos son suministrados in situ por los propios proveedores y en el proceso de recepción se realizan las siguientes acciones de control de calidad:

-Verificar si los productos son acompañados de los correspondientes certificados de calidad.

-Los técnicos de Control de la Calidad de la entidad realizan la inspección de aceptación para verificar la conformidad de los productos, dicha inspección se

registra en modelo establecido para estos efectos y se emite el acta de conformidad o rechazo.

En el proceso de Almacenamiento y conservación se realizan las siguientes acciones de control de calidad:

-Se verifica y certifica que la cámara de frío se encuentra apta para el almacenamiento.

-Durante el tiempo de conservación se registran y controlan las temperaturas e incidencias de las cámaras.

-Se realiza control de la germinación.

### **Comercialización.**

En el caso de los productos que son conservados en frío y luego liberados para la comercialización se realizan las siguientes acciones de la gestión de la calidad:

-Emisión de los Certificados de Calidad del producto y embalaje.

-Emisión de Certificado Fitosanitario.

-Emisión de Acta de Liberación Fitosanitario del producto.

### **Recepción y almacenamiento de los insumos.**

Los insumos lo constituyen una amplia gama de productos químicos tóxicos (oxígeno, acetileno, diluentes, pinturas, grasas, lubricantes).

El proceso de compras de los insumos no es gestionado en un sistema de calidad, no se cuentan con los certificados de calidad emitidos por los proveedores o fabricantes y no se evidencia exigencia al respecto. Estos son acumulados en el almacén de insumos, almacén de lubricantes y almacén de materiales según corresponda.

Los principales proveedores de los insumos son:

Corporación CIMEX, ACINOX, Ingeniería, EES Comercializadora Escambray, CUBALUB, Corporación Copextel, DIVEP, La UEB ATM Cienfuegos.

### Principales clientes de Frigorífico Cienfuegos.

- Empresa “Victoria de Girón” Matanzas, (Frutales)
- Empresa “Héroes de Girón” Matanzas, (Concentrados).
- Empresa Cítricos Arimao, Cienfuegos, (Frutales).
- Empresa Cítricos Ceballo, Ciego Ávila, (Concentrados, pulpas, jugos).
- Empresa Cítricos Banes, (aceites esenciales).
- Empresa Cítricos Ceiba, Nuevitas, (Frutales)
- Empresa provincial Acopio, MINAGRI, Cienfuegos, (papas, col, ajíes, cebollas, etc)

### Composición del capital humano.

Tabla 2-1 Composición del capital humano en Frigorífico Cienfuegos.

OBREROS		TÉCNICOS		DIRIGENTES		SERVICIO		TOTAL	
M	F	M	F	M	F	M	F	M	F
21		7	6	2	4	5	3	37	11
21		13		6		8		48	

## Estructura organizativa de la empresa.

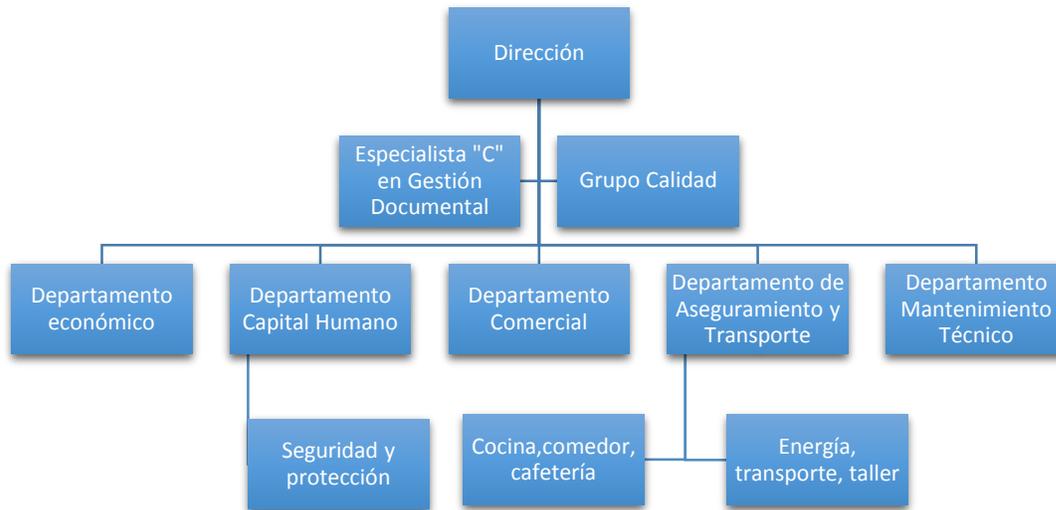


Figura 2.2 Estructura organizativa de Frigorífico Cienfuegos. Fuente: Elaboración propia.

M- Masculino. F- Femenino.

### 2.1.1 Descripción técnica de la instalación. (para un mejor entendimiento ver Anexo 3)

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

La potencia frigorífica de cada AU 400 es de 441,94 kW (1507961 BTU/h) a 720 r.p.m y la de los AU 200 es de 232,6 kW (793664 BTU/h) a 720 r.p.m si ( $t_e = - 8^{\circ}\text{C}$ ;  $t_k = + 35^{\circ}\text{C}$ )

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

- Recibidor de circulación de  $7\text{m}^3$  c/u de capacidad donde se almacena el refrigerante que se bombeará a las cámaras, la cantidad es 2.
- Recibidores lineales de líquido condensado el cual acumula el refrigerante procedente de los condensadores y los distribuye según la demanda de nivel

de líquido en los recibidores de circulación automáticamente, o directamente a las cámaras por un mecanismo de emergencia, cantidad 2 unidades y son de 3,5 m<sup>3</sup> c/u.

- Separador de aceites general para todo el sistema de tuberías compresor-condensador, situado en la línea, de descarga y en cantidad de uno SA-300.
- Colector de aceite general del sistema que incluye la parte de alta presión; el aceite llega a él, al drenar el separador de aceite, los tanques de circulación y los recibidores lineales de líquido.
- Purgadores de aire instalados sobre los recibidores horizontal de 3,5 m<sup>3</sup> cuyo fin es purgar el aire y gases incondensables de la parte superior de los recibidores lineales.
- Ocho bombas de amoniaco WIIT alemanas GP-51 para el bombeo de refrigerante a - 10 a 0°C desde los recipientes recirculadores, hasta los difusores en cámaras. De estas bombas 6 son de trabajo normal y 2 de repuesto o reserva.

También en la sala de máquinas se encuentra un tanque de lubricación o de restitución de aceite el cual de forma semiautomática completa el aceite de los compresores. Contigua a la sala de máquina se encuentra el cuarto de pizarras y en el otro extremo, el taller de mantenimiento; en el área de objetos exteriores se encuentra el cuarto de tratamiento de agua, en la cual se debe tratar permanentemente las aguas que se utilizan con fines industriales (Condensación, enfriamiento de compresores etc.)

En el área exterior, anexo a la sala de máquina están instalados los condensadores; torres de enfriamiento y las bombas de agua del sistema de condensación, así como del sistema de enfriamiento de los compresores.

Hay 7 torres de enfriamiento para enfriar el agua caliente que se produce en el proceso de condensación de amoniaco, el trasiego de agua caliente hacia las torres de enfriamiento y el del agua fría hacia los condensadores lo realizan 6 pares de bombas, donde, hay instalados 7 condensadores a fin de dejar en reserva un par de bomba. Cada torre tenía instalada en su parte superior, 6 ventiladores dobles

duplex de 1 3/4" que impulsaban el aire entrante por las ventanillas de la torre a fin de crear un movimiento a contra corriente entre el aire que sube y el agua que cae dentro de la torre y producir el fenómeno de enfriamiento. Estas torres fueron modificadas por un proyecto cubano y se convirtieron en Autoventiladas, por lo que se les eliminaron los ventiladores de aire.

En el área exterior de la fachada de la sala de máquina, cuarto de pizarras y baños se encuentra ubicada la estación de cargas de refrigerante por donde se introduce el amoniaco al sistema de refrigeración.

El frigorífico Cienfuegos cuenta con 8 cámaras de 54 x 18 x 7m, su área (entre ejes) es 972 m<sup>2</sup> y su volumen bruto 6804 m<sup>3</sup>. Todas las cámaras de la 1 a la 8 trabajan a temperaturas por encima de 0°C porque fueron diseñadas para conservar cítricos. Por diseño cada cámara es capaz de almacenar 750 toneladas de productos.

### 2.1.2 Ciclo de refrigeración.

Para la evaluación del ciclo de refrigeración se empleó el software CoolPack versión 1,46 del año 2000, creado por el departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Dinamarca. Los resultados de la evaluación del ciclo se muestran en las figuras 2.3, 2.4 y 2.5.

CYCLE SPECIFICATION			
TEMPERATURE LEVELS	PRESSURE LOSSES	QUALITY OUT OF EVAPORATOR	REFRIGERANT
T <sub>E</sub> [°C]: <input type="text" value="-8,0"/>	Δp <sub>SL</sub> [K]: <input type="text" value="0,5"/>	x <sub>CUT</sub> [kg/kg] <input type="text" value="0,95"/>	<input type="text" value="R717"/>
T <sub>C</sub> [°C]: <input type="text" value="35,0"/> ΔT <sub>SC</sub> [K]: <input type="text" value="2,0"/>	Δp <sub>DL</sub> [K]: <input type="text" value="0,5"/>		
CYCLE CAPACITY			
Cooling capacity $\dot{Q}_E$ [kW] <input type="text" value="3376"/>	$\dot{Q}_E$ : 3376,0 [kW]	$\dot{Q}_C$ : 4098,6 [kW]	$\dot{m}$ : 3,080 [kg/s] $\dot{V}_S$ : 4408,0 [m <sup>3</sup> /h]
COMPRESSOR PERFORMANCE			
Isentropic efficiency $\eta_{IS}$ [-] <input type="text" value="0,85"/>	$\eta_{IS}$ : 0,850 [-]	$\dot{W}_{CP}$ : 790,4 [kW]	
COMPRESSOR HEAT LOSS			
Heat loss factor f <sub>Q</sub> [%] <input type="text" value="10"/>	f <sub>Q</sub> : 10,0 [%]	T <sub>2</sub> : 106,2 [°C]	$\dot{Q}_{LOSS}$ : 79,04 [kW]
SUCTION LINE			
Unuseful superheat ΔT <sub>SH,SL</sub> [K] <input type="text" value="1,0"/>	$\dot{Q}_{SL}$ : 9398 [W]	T <sub>8</sub> : -7,0 [°C]	ΔT <sub>SH,SL</sub> : 1,0 [K]

Figura 2.3 Especificaciones del ciclo.

Se evalúa el ciclo con los parámetros de diseño. El ciclo es de una etapa con evaporadores inundados.

STATE POINTS					Additional information
STATE POINT	TEMPERATURE [°C]	PRESSURE [kPa]	ENTHALPY [kJ/kg]	DENSITY [kg/m <sup>3</sup> ]	
1	-7,0	309,2	1439,6	2,5	Pressure ratio ( $p_2 / p_1$ ): 4,442
2	106,2	1373,4	1670,6	7,9	
3	106,2	1353,9	1671,2	7,8	$T_{2,IS}$ : 101,2 [°C] $T_{2,IS}$ is the temperature of the discharge gas assuming reversible and adiabatic compression
4	33,0	1353,9	340,4	590,5	$T_{2,W}$ : 116,1 [°C] $T_{2,W}$ is the temperature of the discharge gas assuming real and adiabatic compression
5	-8,0	315,5	340,4	-----	
6	-8,0	315,5	142,4	649,3	
7	-8,0	315,5	1371,9	-----	
8	-8,0	315,5	1436,6	2,6	

Figura 2.4 Parámetros de los puntos del ciclo.

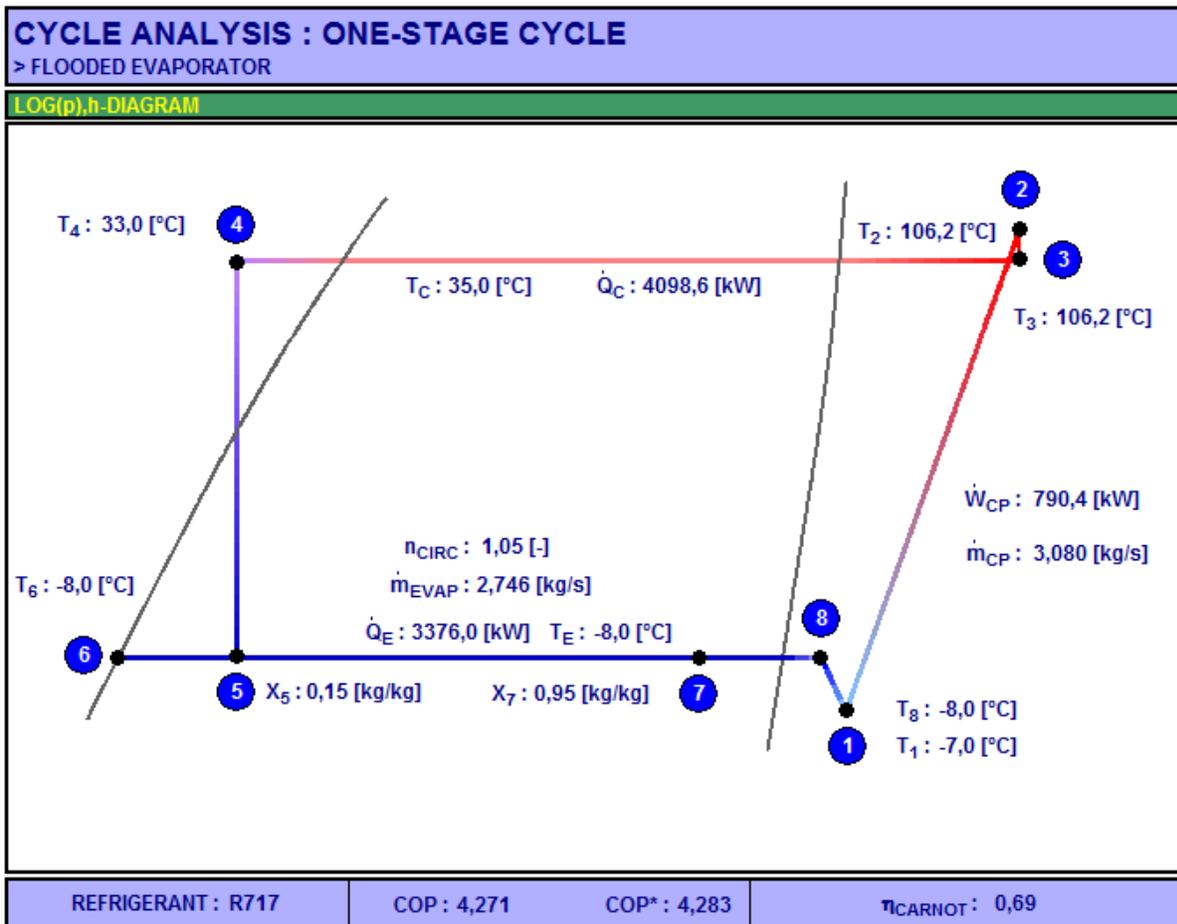


Figura 2.5 Diagrama del ciclo de refrigeración evaluado. Fuente: Elaboración propia.

## 2.2 Características energéticas de la empresa Frigorífico Cienfuegos.

La empresa Frigorífico Cienfuegos posee 5 portadores energéticos: la electricidad, gas licuado, lubricantes, diésel y gasolina. En la figura 2.6 se puede apreciar la

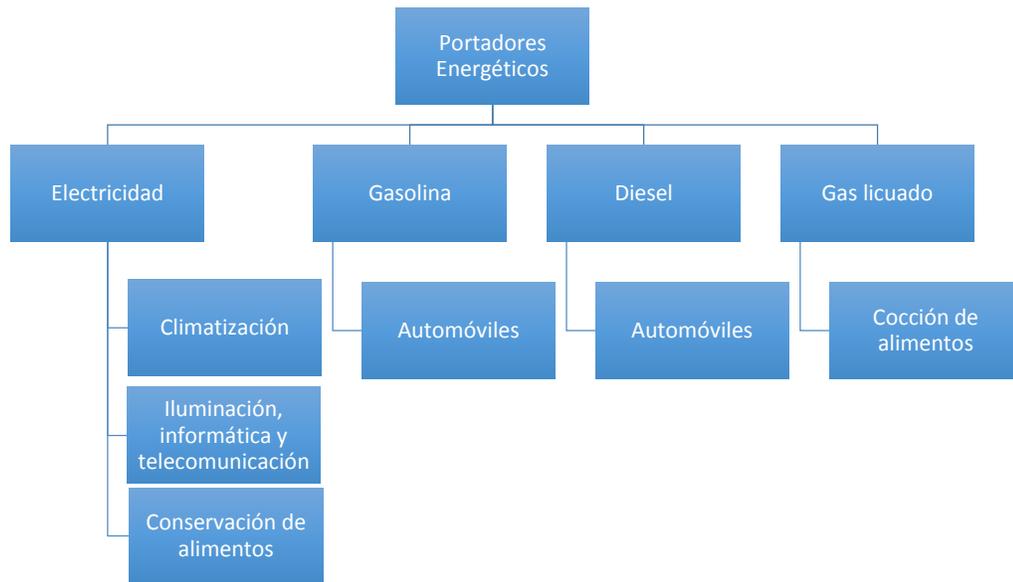


Figura 2.6 Finalidad de los portadores energéticos. Fuente: Elaboración propia.

finalidad de cada uno de ellos.

En la figura 2.7 se puede observar el balance de los portadores energéticos en el año 2016. La gran desproporción que existe entre la electricidad (97,03%) y el resto de los portadores energéticos es evidente, por lo cual el estudio se centrará hacia la electricidad.

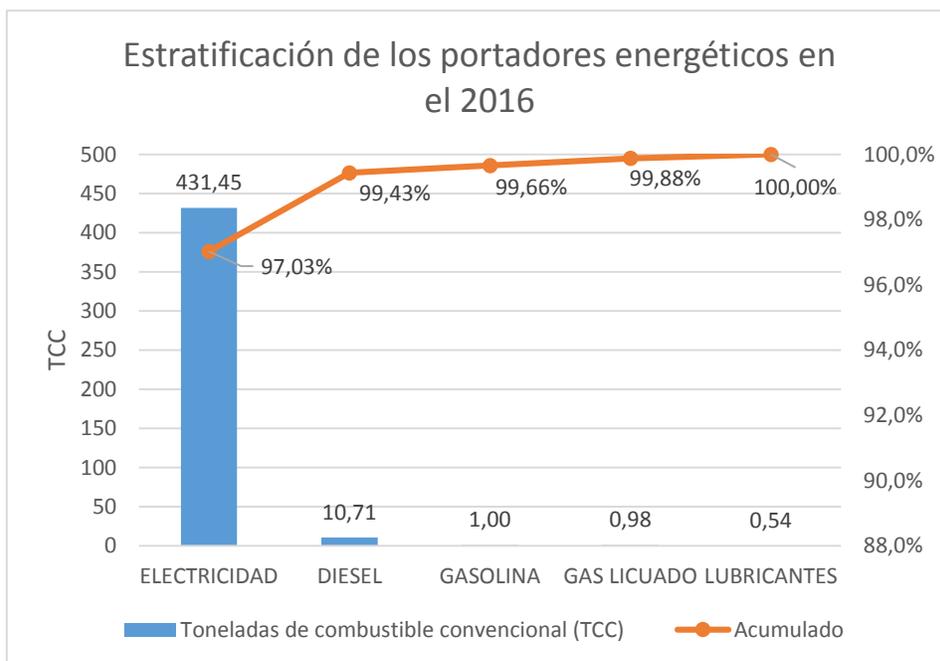


Figura 2.7 Estratificación de los portadores energéticos. Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.1 Características de la red de suministro eléctrico y tarifa.

El control de energía eléctrica del frigorífico se realiza a través de un metro contador ubicado en la pizarra general de distribución (PGD). La entidad es alimentada por un banco de transformadores de dos equipos de 100 KVA cada uno con una relación de transformación de 33 KV/480 V. La PGD cuenta con un interruptor de 2500 A /600 V existe un interruptor de enlace de las mismas características técnicas.

Frigorífico Cienfuegos es clasificado como consumidor de media tensión y se alimenta de un banco de transformadores exclusivo, la actividad diaria de los equipos eléctricos es de más de 20 horas y es uno de los 30 mayores consumidores de electricidad en el territorio cienfueguero. La tarifa eléctrica aplicada por la Unión Nacional Eléctrica es la M1-A de acuerdo con la Resolución No. 28 del 2011 del Ministerio de Finanzas y Precio. Dicha tarifa establece para cada horario (pico, día y madrugada) un costo diferente atendiendo a un factor de combustible (K) de la manera que se muestra a continuación:

Por cada kW/h consumido en el horario pico:

$$\left(0,0481 \frac{\$}{kW/h} \cdot K + 0,064 \frac{\$}{kW/h}\right) \cdot \text{Consumo horario pico en } kW/h \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Por cada kW/h consumido en el horario del día:

$$\left(0,0241 \frac{\$}{kW/h} \cdot K + 0,064 \frac{\$}{kW/h}\right) \cdot \text{Consumo horario día en } kW/h \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Por cada kW/h consumido en el horario de la madrugada:

$$\left(0,0161 \frac{\$}{kW/h} \cdot K + 0,064 \frac{\$}{kW/h}\right) \cdot \text{Consumo horario madrugada en } kW/h \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Unido a ello, se paga \$ 7.00 CUP mensual por cada kW de máxima demanda contratada en el horario comprendido entre las 5:00 y las 21:00 horas (horario día y pico) y si la demanda máxima registrada es mayor que la demanda contratada, se factura el exceso a \$ 21.00 CUP por cada kW. Se penaliza en este tipo de tarifa según el valor del factor de potencia.

### 2.2.2 Consumo histórico de electricidad.

En la figura 2.8 se puede apreciar el comportamiento del consumo de electricidad en los años 2015 y 2016. En ambos años su comportamiento se manifiesta de manera muy similar, excepto en los primeros 3 meses; en el año 2015 el valor de consumo de estos está por debajo de los valores de todos los meses del 2016. En el inicio de ambos años la tendencia del consumo es a incrementarse para luego lograr cierta estabilidad.

Se aprecia, además, que la empresa Frigorífico Cienfuegos es alta consumidora de electricidad; consume entre 80 y 140 MWh al mes una cifra considerable.

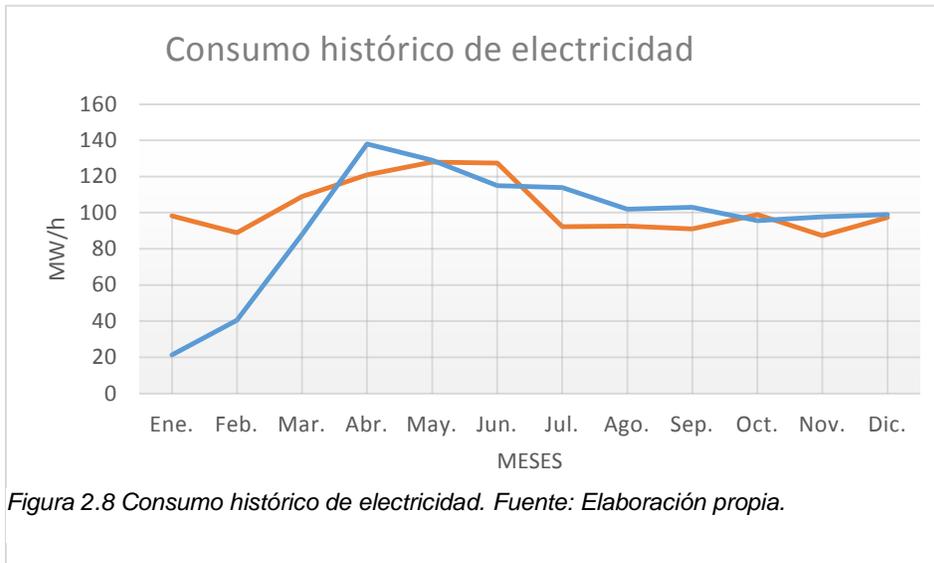


Figura 2.8 Consumo histórico de electricidad. Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.3 Gráficos de control.

Los gráficos de control revelan el consumo de electricidad que se encuentra controlado durante los 2 años mostrando una medida de la dispersión de todos los valores de consumo con respecto a su promedio. Estos se elaboran calculando la media o promedio y la desviación típica o estándar y estableciendo como límite superior la media sumado 2 veces la desviación estándar y como límite inferior la media menos 2 veces la desviación estándar.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Ecuación 2.4

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Ecuación 2.5

$\bar{x}$ - Media aritmética o promedio.

$\sigma$ -Desviación estándar o desviación típica.

$n$ - Cantidad de datos.

$x_i$ -Valores de la muestra de datos.

Para el año 2015.

Sustituyendo en la ecuación 2.5:

$$\bar{x} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} (21,5 + 40,59 + 88 + 138 + 129 + 115 + 113,86 + 102 + 103 + 95,584 + 97,64 + 98,85)$$

$$\bar{x} = 95,23116667 \approx 95,23 \text{ MWh}$$

Sustituyendo en la ecuación 2.4:

$$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^{12} (21,25 - 95,23)^2 + (40,59 - 95,23)^2 + (88 - 95,23)^2 + (138 - 95,23)^2 + (129 - 95,23)^2 + (115 - 95,23)^2$$

$$+ (113,86 - 95,23)^2 + (102 - 95,23)^2 + (103 - 95,23)^2 + (95,584 - 95,23)^2 + (97,64 - 95,23)^2$$

$$+ (98,85 - 95,23)^2$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{12-1} \sum_{i=1}^{12} (x_i - \bar{x})^2}$$

$$\sigma = 33,49857812 \approx 33,5 \text{ MWh}$$

Para el año 2016.

Sustituyendo en la ecuación 2.5:

$$\bar{x} = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} (98,301+88,863+109,016+120,926+27,988+127,488+92,198+92,636+91,06+98,848+87,251+97,435)$$

$$\bar{x} = 102,6675 \approx 102,67 \text{ MWh}$$

Límite superior.

$$2\sigma + \bar{x} = 162,2283229 \approx 162,23 \text{ MWh}$$

Límite inferior.

$$-2\sigma + \bar{x} = 28,23401042 \approx 28,23 \text{ MWh}$$

Sustituyendo en la ecuación 2.4:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 &= \sum_{i=1}^{12} (98,301 - 102,67)^2 + (88,863 - 102,67)^2 + (109,016 - 102,67)^2 \\ &+ (120,926 - 102,67)^2 + (127,988 - 102,67)^2 + (127,488 - 102,67)^2 \\ &+ (92,198 - 102,67)^2 + (92,636 - 102,67)^2 + (91,06 - 102,67)^2 \\ &+ (98,848 - 102,67)^2 + (87,251 - 102,67)^2 + (97,435 - 102,67)^2 \end{aligned}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{12-1} \sum_{i=1}^{12} (x_i - \bar{x})^2}$$

$$\sigma = 14,9699801 \approx 14,97 \text{ MWh}$$

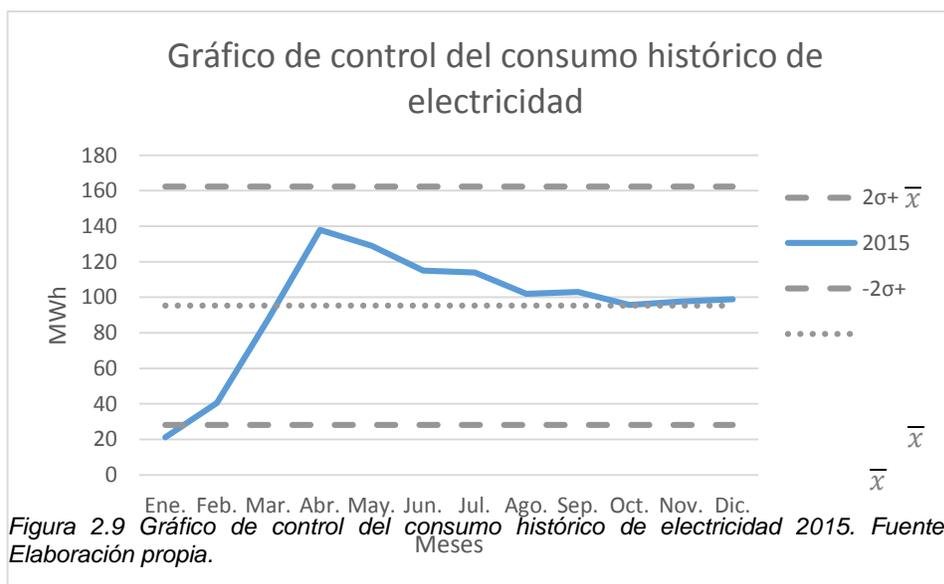
Límite superior.

$$2\sigma + \bar{x} = 132,6074602 \approx 132,61 \text{ MWh}$$

Límite inferior.

$$-2\sigma + \bar{x} = 72,72753981 \approx 72,73 \text{ MWh}$$

En la figura 2.9 se puede apreciar que el consumo en el mes de enero se extralimita con valores muy bajos y en febrero está muy próximo a alcanzar el límite. Dicho comportamiento es debido a que en esos meses las instalaciones se encontraban en reparación y los equipos de mayor consumo no estaban en explotación, luego



de la reparación los niveles de consumo de electricidad alcanzaron niveles cercanos y superiores al promedio.

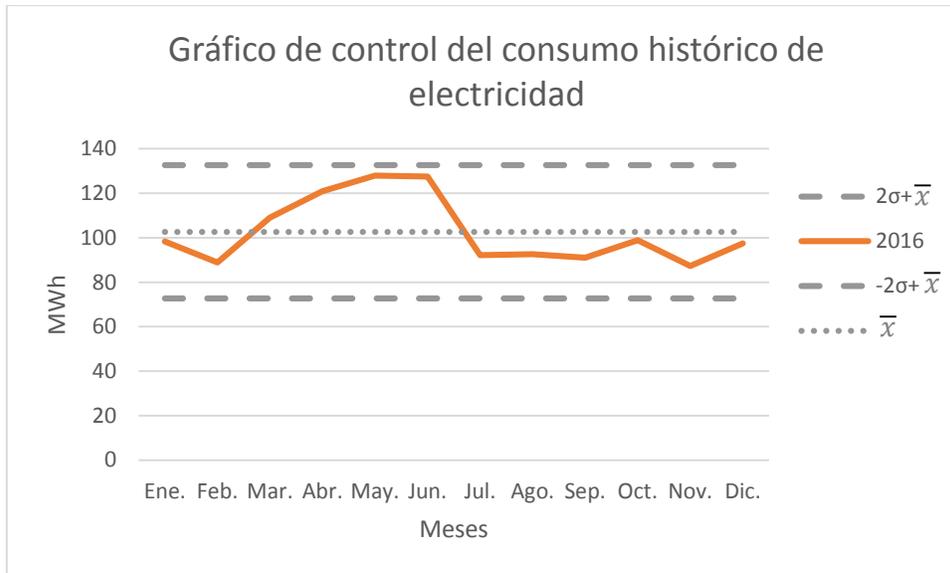


Figura 2.10 Gráfico de control del consumo histórico de electricidad. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 2.10 es distinguishable que desde el mes de marzo hasta el mes de junio el consumo está por encima del promedio, esto es debido a que en este período se almacena papa y esta viene directamente desde el lugar donde se cultiva con temperaturas altas y se hace un mayor número de operaciones de movimiento desde el exterior de las cámaras hacia el interior de estas y viceversa, lo que consecuentemente provoca que la carga térmica aumente empleándose mayor energía para refrigerar.

### 2.2.4 Consumo histórico en los horarios día, pico y madrugada.

En las figuras 2.11 y 2.12 se aprecia cual es el horario de más consumo en Frigorífico Cienfuegos: el horario madrugada. Esta situación está dada en lo fundamental a las ventajas de la tarifa eléctrica en ese horario, donde la electricidad es de más bajo valor y por cuestiones económicas se planifica la conexión de todos los equipos y que en las primeras horas del día estén las condiciones óptimas de temperatura en las cámaras frigoríficas, momento en que se apagan los equipos para ahorrar el presupuesto asignado. El horario pico es el horario donde menos electricidad se consume, casi ninguna si se compara con el resto de los horarios porque es donde más cara es la electricidad y se vela por tener funcionando la menor cantidad de dispositivos eléctricos posible.

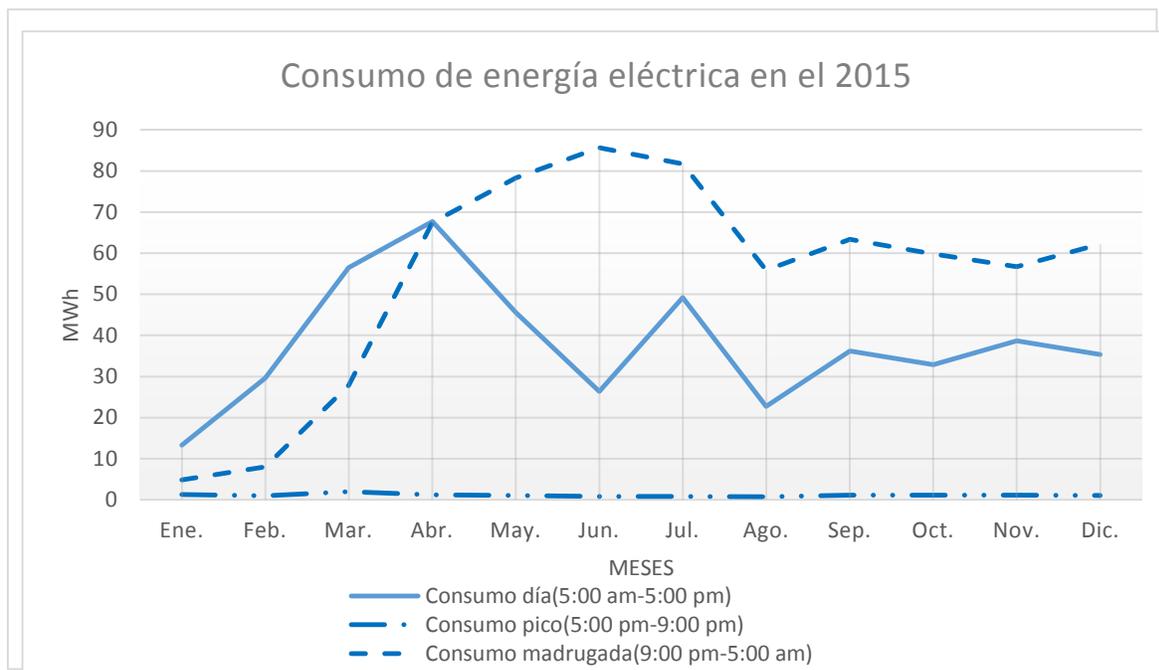


Figura 2.12 Consumo de energía eléctrica en los distintos horarios en el año 2016. Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.11 Consumo de energía eléctrica en los distintos horarios en el año 2015. Fuente: Elaboración propia.

En los primeros meses del año 2015 es notable que el horario de mayor consumo fue en el horario del día, debido a que la instalación estaba en reparación y los equipos que normalmente ponían en funcionamiento por la madrugada no estaban aptos para su funcionamiento.

En la figura 2.12 se puede observar como hay estabilidad con respecto a la distribución del empleo de la electricidad en los distintos horarios y la similitud de las series “consumo día” y “consumo pico”.

### 2.2.5 Demanda máxima registrada y contratada.

En la figura 2.13 se observa cómo se comporta la demanda máxima registrada y que esta no supera la demanda contratada en ninguno de los dos años, excepto en el mes de abril 2015, el único mes en el que la empresa fue penalizada por dicho motivo. Lo anterior evidencia que la demanda contratada de 650 kW está correctamente contratada, sin embargo, podría hacerse una recontractación durante los meses de noviembre a marzo teniendo en cuenta el consumo histórico de ambos años.

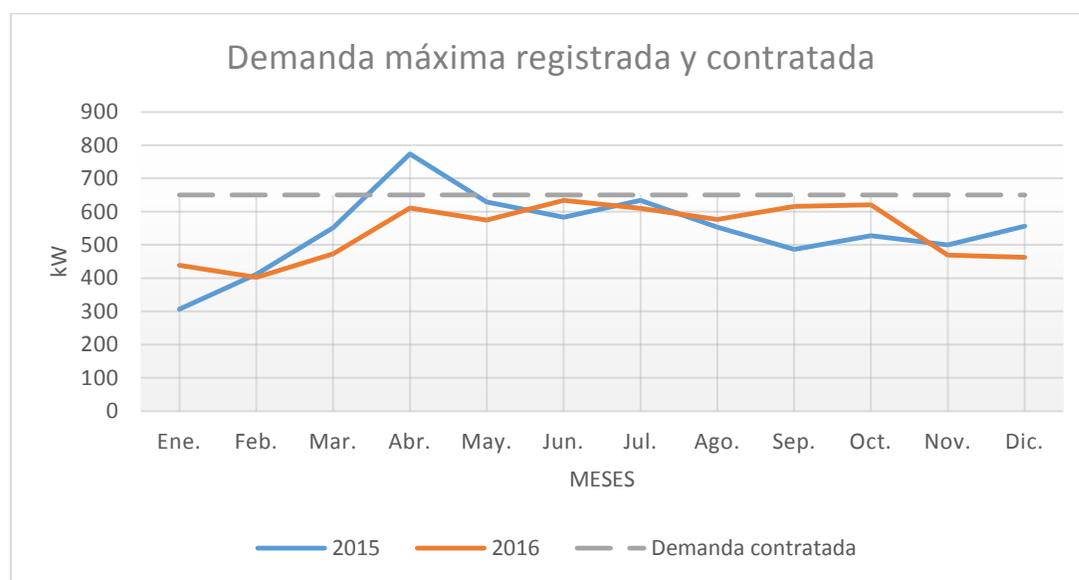


Figura 2.13 Demanda máxima registrada y contratada. Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.6 Factor de potencia.

En los dos años estudiados la mayoría de los valores del factor de potencia se encuentran entre 0,92 y 0,95 recibiendo bonificaciones entre los \$400 y \$500 CUP, excepto en el mes de agosto del año 2016 que el factor de potencia fue de 0,88 debido a una rotura en el banco de transformadores.

### 2.2.7 Consumo histórico y nivel de actividad.

En la figura 2.14 se aprecia como existe en el año 2015 una estrecha relación con el nivel de actividad en las cámaras frigoríficas y el consumo de electricidad. Ambas

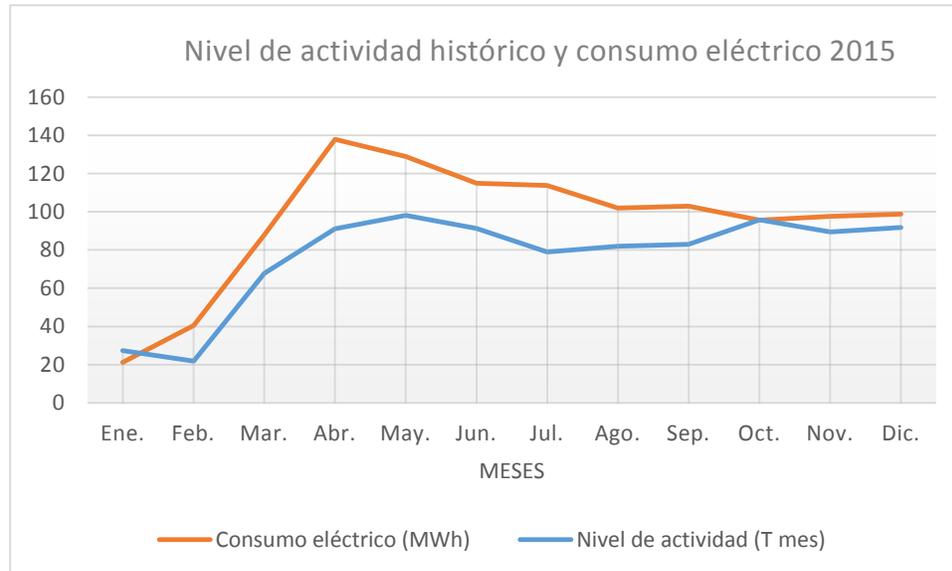


Figura 2.14 Nivel de actividad y consumo histórico en el año 2015. Fuente: Elaboración propia.

series tienen una gran similitud de manera que pudiera decirse que existe una relación directa entre estas dos variables de consumo eléctrico y nivel de actividad.

En la figura 2.15 se observa como en el año 2016 persiste hasta los primeros 6 meses una similitud entre el comportamiento del nivel de actividad y el consumo de electricidad y durante la otra mitad del año prácticamente no existe semejanza entre las dos series de datos; esto es debido a que hubo una disminución del plan energético asignado a la empresa.

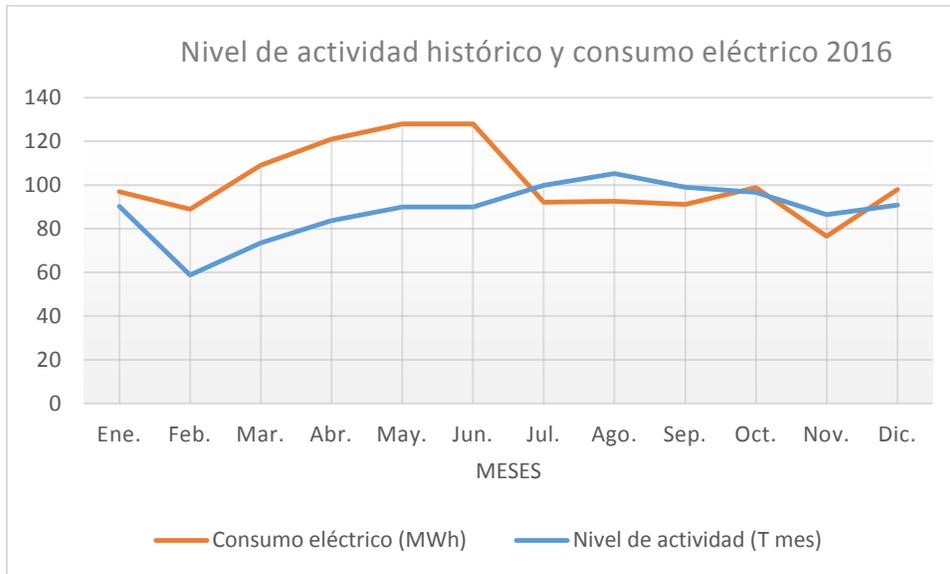


Figura 2.15 Nivel de actividad y consumo histórico en el año 2016. Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.8 Correlación entre Nivel de Actividad vs. Consumo eléctrico.

Según la bibliografía consultada en el capítulo 1 los indicadores de desempeño energético utilizados en las instalaciones industriales de refrigeración son varios; para este estudio se consideró que el más adecuado para describir el comportamiento energético es el indicador Consumo de energía/Cantidad de producto refrigerado mensual. En este caso específico designamos a la cantidad de producto refrigerado el nombre de Nivel de Actividad que es como tienen definido a esta variable en Frigorífico Cienfuegos.

Con la finalidad de encontrar una variable que tenga una buena relación lineal con el comportamiento del consumo eléctrico se realizan los siguientes gráficos. Para que exista una buena relación entre las variables analizadas el valor de correlación lineal ( $R^2$ ) tiene que ser superior a 0,75.

El nivel de actividad no es más que la cantidad de productos refrigerados mensualmente.

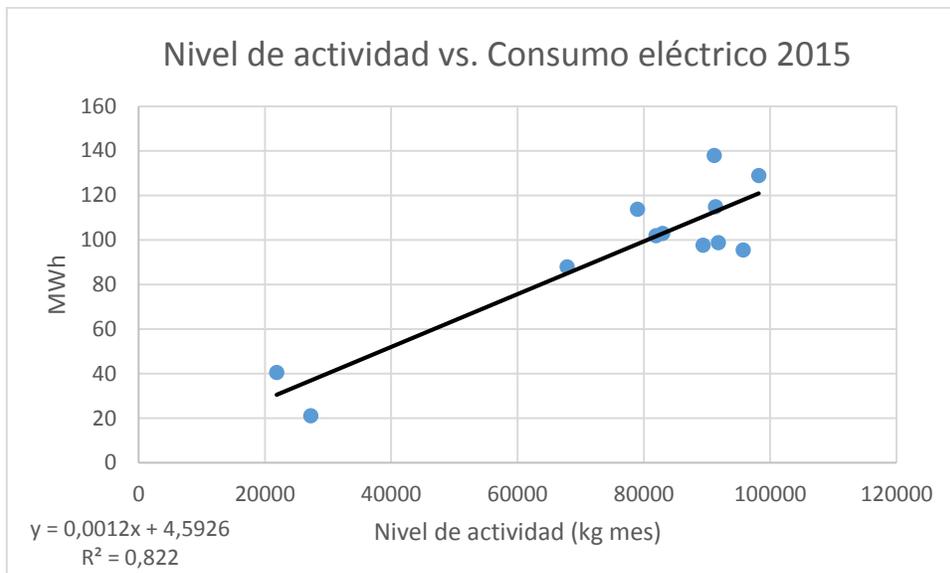


Figura 2.16 Nivel de actividad vs. consumo eléctrico 2015. Fuente Elaboración propia.

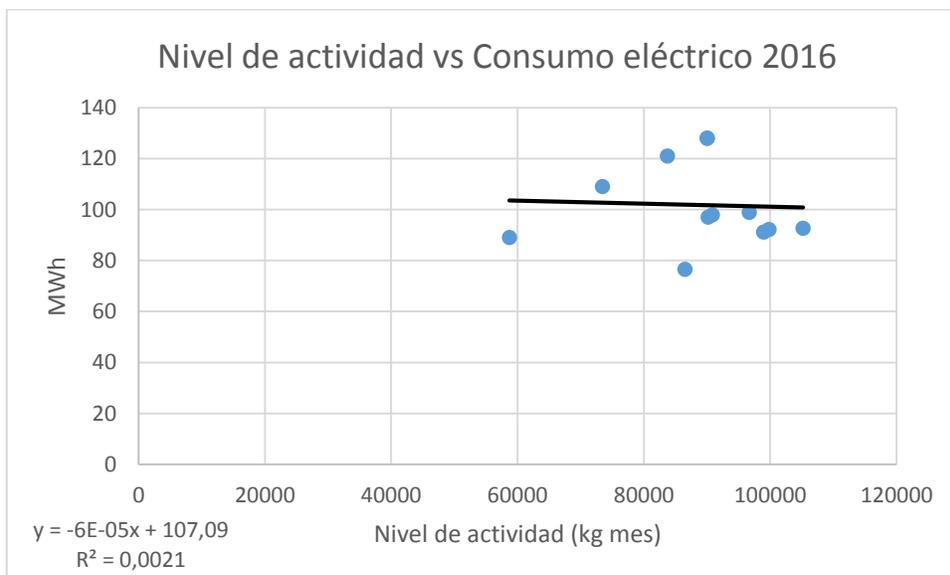


Figura 2.17 nivel de actividad vs. consumo eléctrico 2016. Fuente: elaboración propia.

Para el año 2015 se puede apreciar la buena correlación que existe entre el nivel de actividad y el consumo eléctrico (Ver Figura 2.16), ratificando lo planteado en el epígrafe 2.2.7 acerca de la relación entre estas dos variables cuando se analizaba el comportamiento de estas en el gráfico de líneas de la Figura 2.14.

En efecto, en el gráfico de la Figura 2.17 es apreciable como no existe relación entre estas dos variables confirmando lo planteado en el epígrafe anterior.

Habiendo obtenido estos resultados el estudio se centrará hacia el año 2015 en el cual la conducta del consumo eléctrico fue normal y no hubo reducción en el plan energético.

### **2.3 Censo de carga e identificación de los USEn (Usos Significativos de la Energía).**

Para realizar el censo de carga se tuvieron en cuenta todos los equipos eléctricos de la entidad, agrupándolos en las zonas siguientes: (Ver Anexo 4)

- Sala de máquinas y cámaras frigoríficas.
- Cocina.
- Oficina Servidor.
- Oficina economía.
- Oficina comercial.
- Oficina actividades técnicas.
- Oficina dirección.
- Oficina secretaria.
- Oficina de capital humano.
- Oficina energético.
- Oficina seguridad y protección y asesor jurídico.
- Oficina salón de reuniones.

Además, se agruparon por servicio energético en:

- Refrigeración.
- Iluminación.
- Otras.
- Informática.
- Climatización.

Se estimó según las horas de uso y la potencia de cada uno de los equipos el destino del mayor por ciento de la electricidad.

En la figura 2.18 es apreciable como el mayor porcentaje de la energía eléctrica es empleada en la refrigeración, algo muy lógico y que era de esperarse, ya que el objeto social de la empresa es la refrigeración de productos alimenticios. Luego de la refrigeración le sigue la iluminación con un muy bajo 2,99% que puede disminuir con la sustitución de modernas tecnologías.

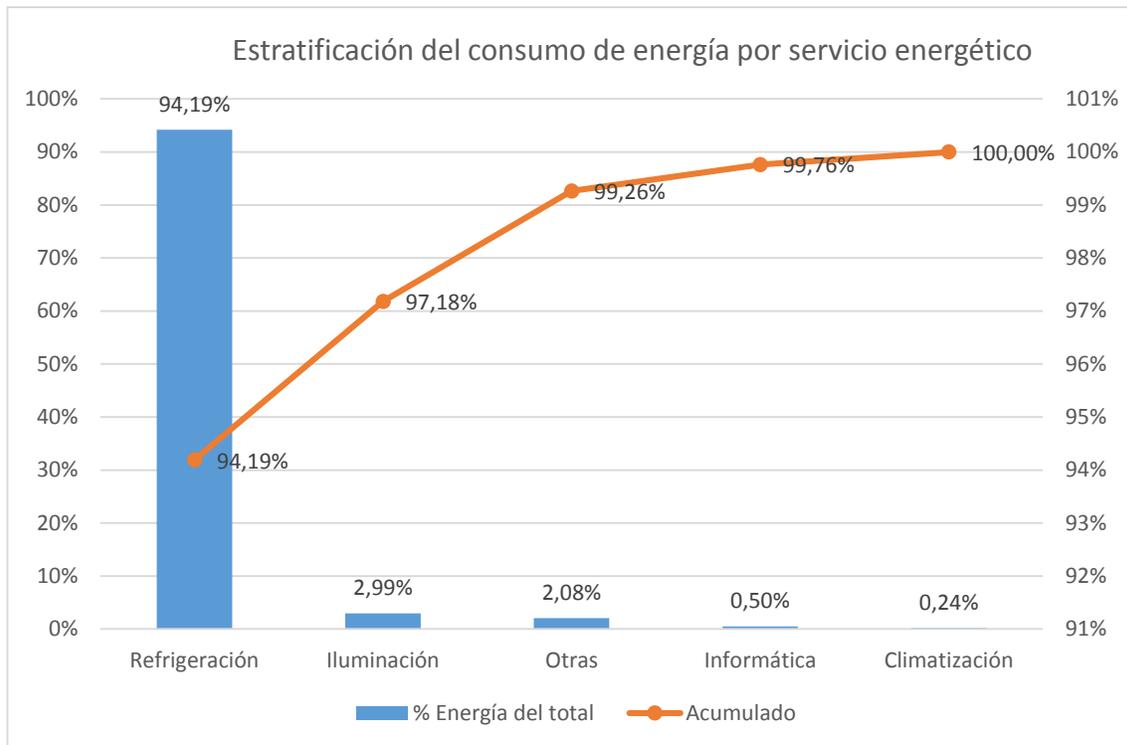
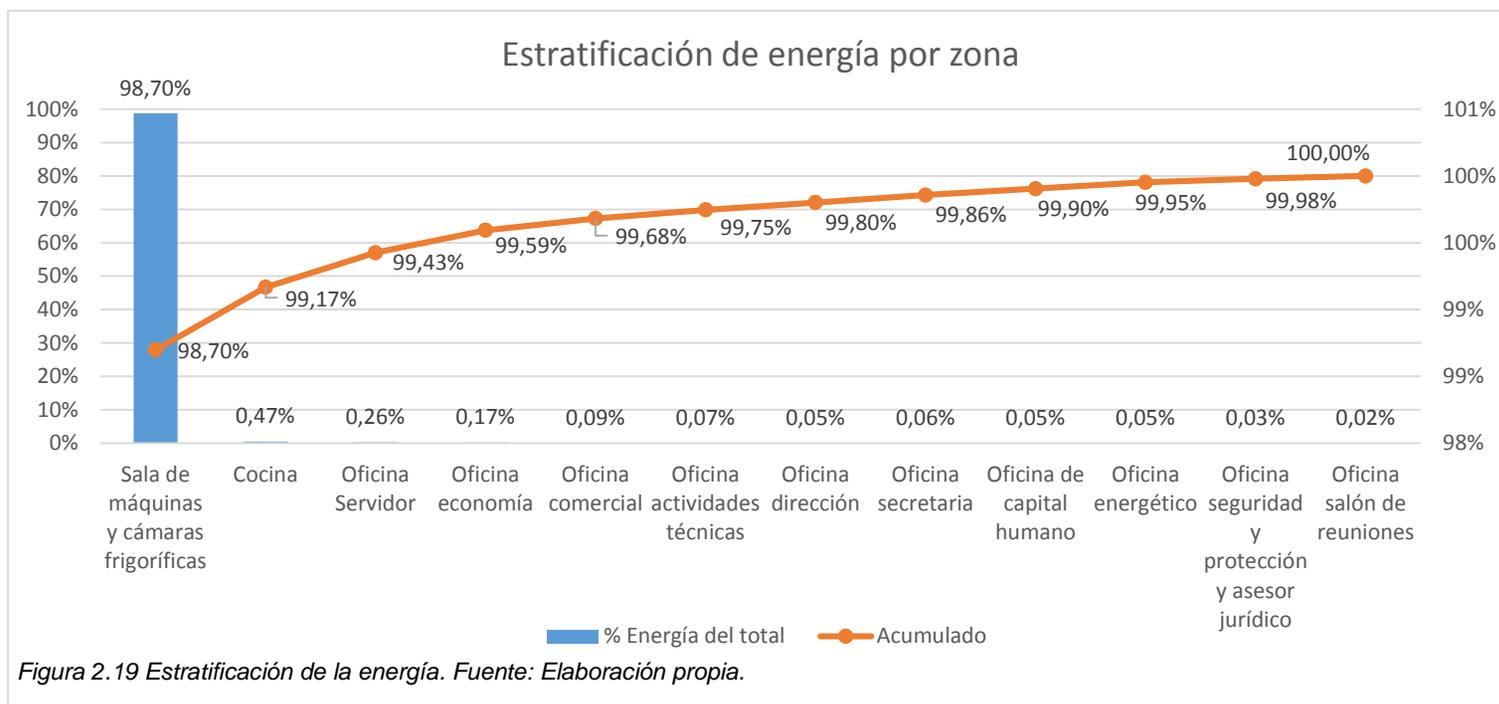


Figura 2.18 Estratificación del consumo de energía por servicio energético. Fuente: Elaboración propia.



En la figura 2.19 se nota fácilmente que la zona de mayor consumo dentro de Frigorífico Cienfuegos es la “Sala de máquinas y cámaras frigoríficas” con un 98,7%, mientras que las demás zonas son insignificantes. Con la finalidad de determinar que equipos son los de mayor consumo dentro de esta zona se procedió a estratificar en la figura 2.20.

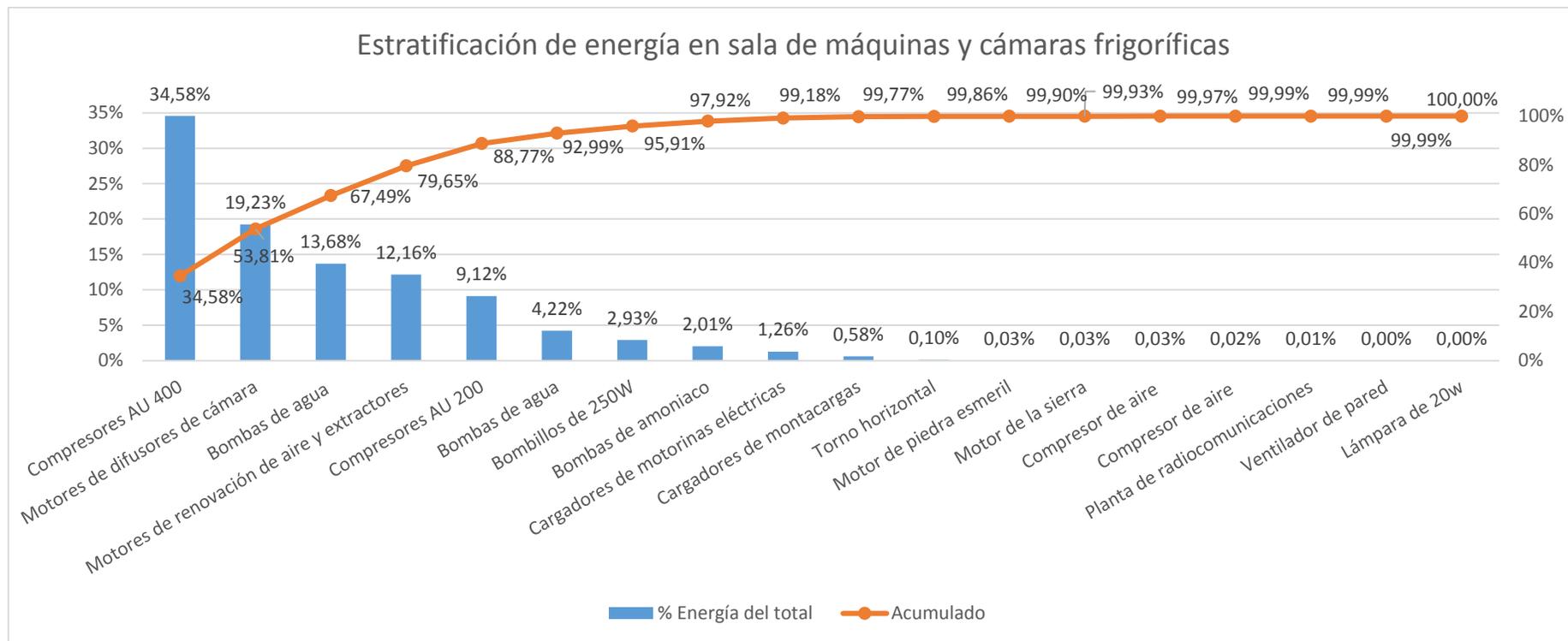


Figura 2.20 Estratificación de energía en la sala de máquinas y cámaras frigoríficas. Fuente: Elaboración propia.

Los mayores consumidores de electricidad son los compresores AU 400, los motores de difusores de cámaras, las bombas de agua, motores de renovación de aire y extractores y los compresores AU 200. Todos estos equipos independientemente del uso y su finalidad son motores eléctricos y constituyen los USEn (Usos Significativos de la Energía).

## 2.4 Determinación de IDens (Indicadores de Desempeño Energético).

En el epígrafe 2.2.8 se llegó a la conclusión de que el indicador de desempeño energético Consumo de energía/Cantidad de producto refrigerado mensual (en nuestro caso el nivel de actividad) era el indicado para describir el comportamiento energético de la instalación que se estudia y que existe una buena correlación para las variables involucradas.

Con el propósito de mejorar el coeficiente de correlación lineal ( $R^2$ ) y describir mejor el comportamiento energético se involucró la variable días grados debido a que es muy utilizada en estudios de climatización. Se tomó los días grados con una temperatura de base o referencia de unos  $17^{\circ}\text{C}$  (Ver anexo 2). Los datos de los días grados fueron extraídos del sitio web [www.degreedays.net](http://www.degreedays.net).

En efecto como se puede apreciar en la figura 2.21 el  $R^2$  mejoró aproximadamente en un valor de 0.031.

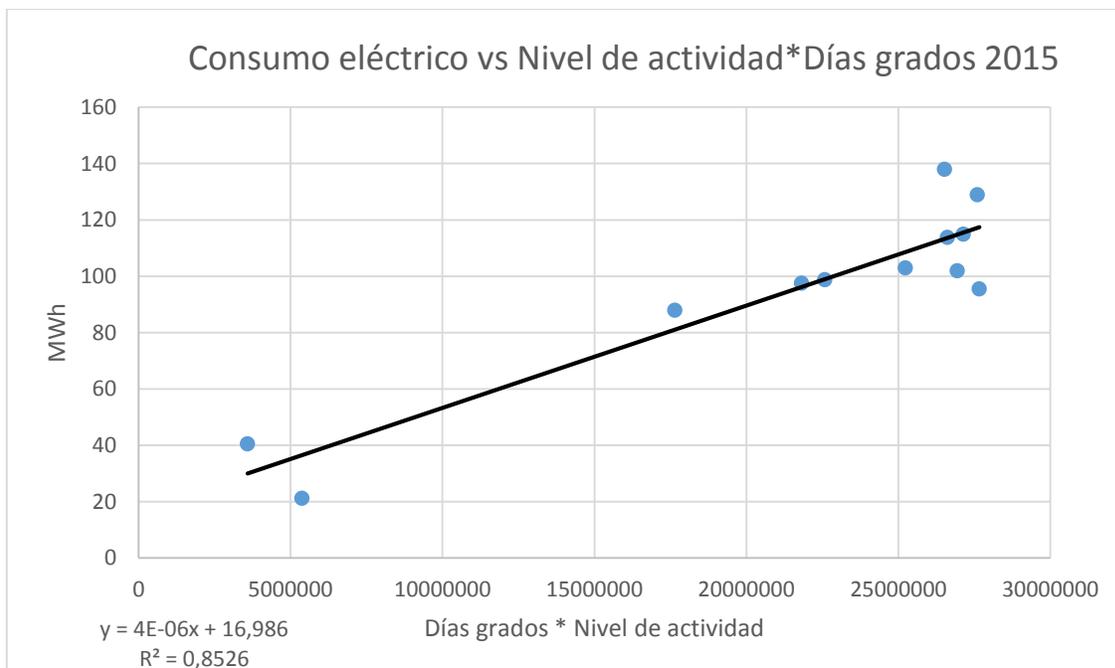


Figura 2.21 Consumo eléctrico vs Nivel de actividad\*Días grados 2015. Fuente: Elaboración propia.

Se propone entonces la utilización del indicador de desempeño energético:

$$IDEn = \frac{MWh}{\text{Nivel de actividad} * \text{Días grados}}$$

Ecuación 2.6

Además del indicador de desempeño energético de la ecuación 2.6 se debe considerar los indicadores propuestos en la NC 1072:2016 en el caso de que se hagan nuevas inversiones, remodelaciones y ampliaciones (Ver epígrafe 1.3.4.1).

Con la finalidad de evaluar y valorar el diseño de la instalación se procederá a calcular los indicadores propuestos por la norma antes mencionada.

Potencia instalada  $N_e=3079,8$  kW

Capacidad frigorífica  $\varnothing_a= 3558,78$  kW

Sustituyendo en la ecuación 1.1:

$$IDE = \frac{3079,8}{3558,78} = 0,865 \approx 0,87 \text{ kW/kW}$$

El indicador de desempeño energético para que se encuentre dentro de los valores normales según la norma debe ser menor o igual que 0,17 kW/kW y en nuestro caso  $0,87 > 0,17$ .

Sustituyendo en la ecuación 1.2:

$$REE = \frac{3558,78}{3079,8} = 1,155 \approx 1,16 \text{ kW/kW}$$

La Razón de eficiencia energética para que se encuentre dentro de los valores normales debe ser menor o igual que 5,88 kW/kW y en nuestro caso  $1,16 > 5,88$ .

## 2.5 Línea base energética y línea meta.

La línea base energética se define a partir del indicador de desempeño energético (IDEn) propuesto.

El potencial de ahorro por ajuste de la variabilidad operacional del consumo de energía se obtiene a través de la línea energética meta. Dicha línea se obtiene a partir de la línea base representada en la figura 2.22, correlacionando los puntos que se encuentran debajo (puntos rojos) de dicha línea y desechando los que se

encuentran por encima (puntos azules). En la figura 2.23 se muestran la línea base y la línea meta.

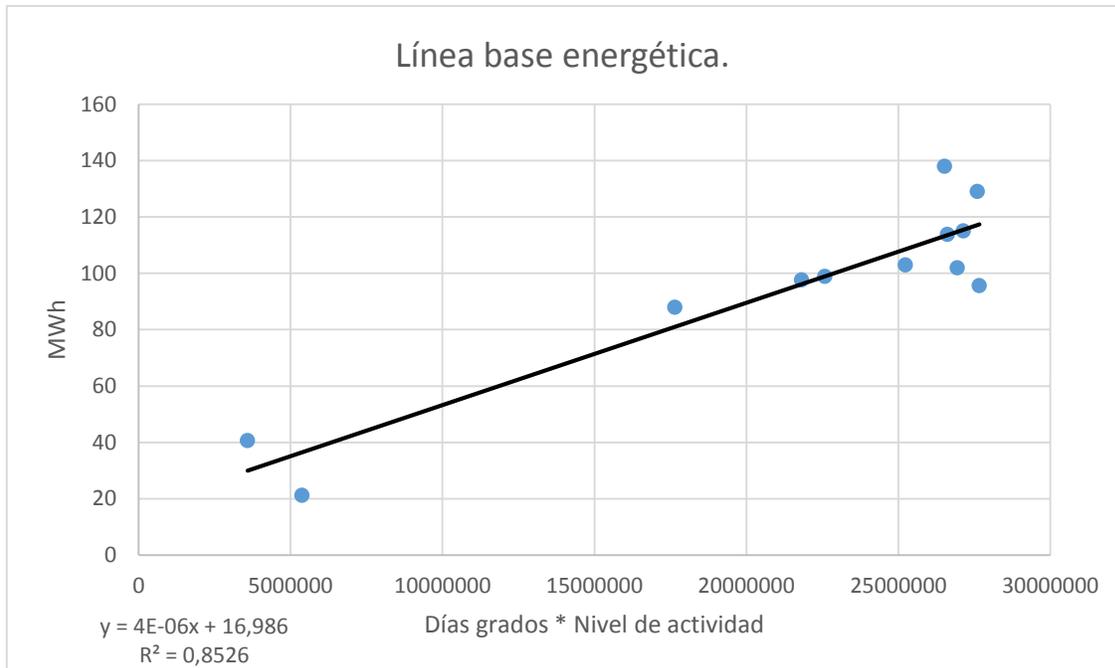


Figura 2.22 Línea base energética. Fuente: Elaboración propia.

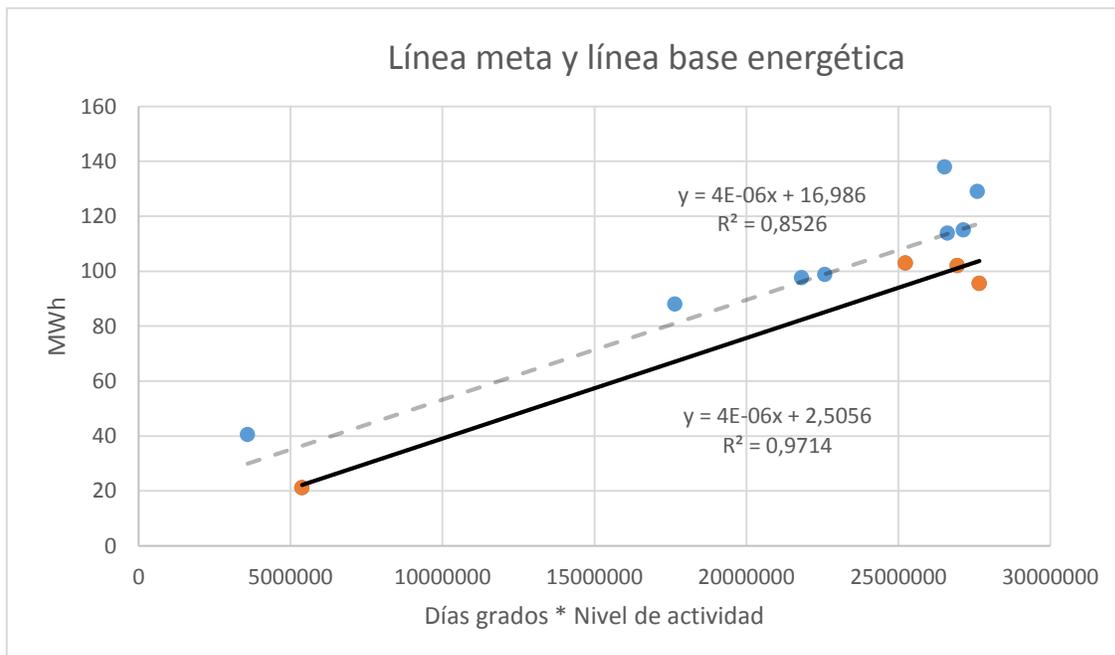


Figura 2.23 Línea meta y línea base energética. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 2.24 se representa la función del indicador de desempeño energético que permite controlar mensualmente el desempeño energético. La línea constituye el desempeño energético ideal, si los valores del IDEn están por debajo de la meta representa un buen desempeño y ahorro energético, pero si se encuentra por arriba sería necesario realizar algunas correcciones.

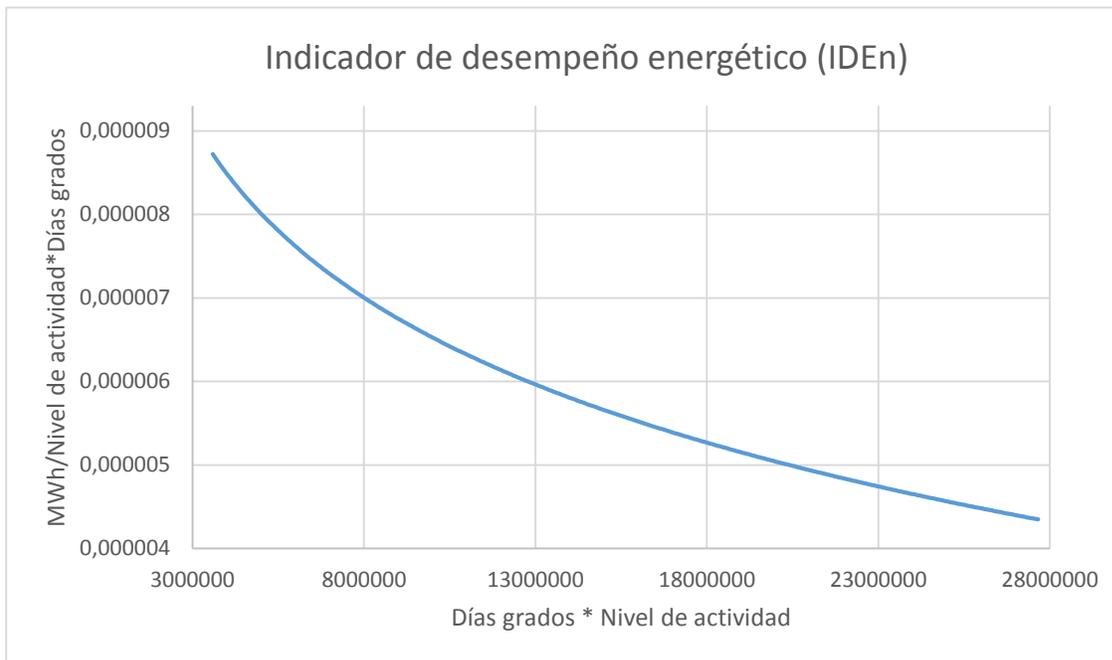
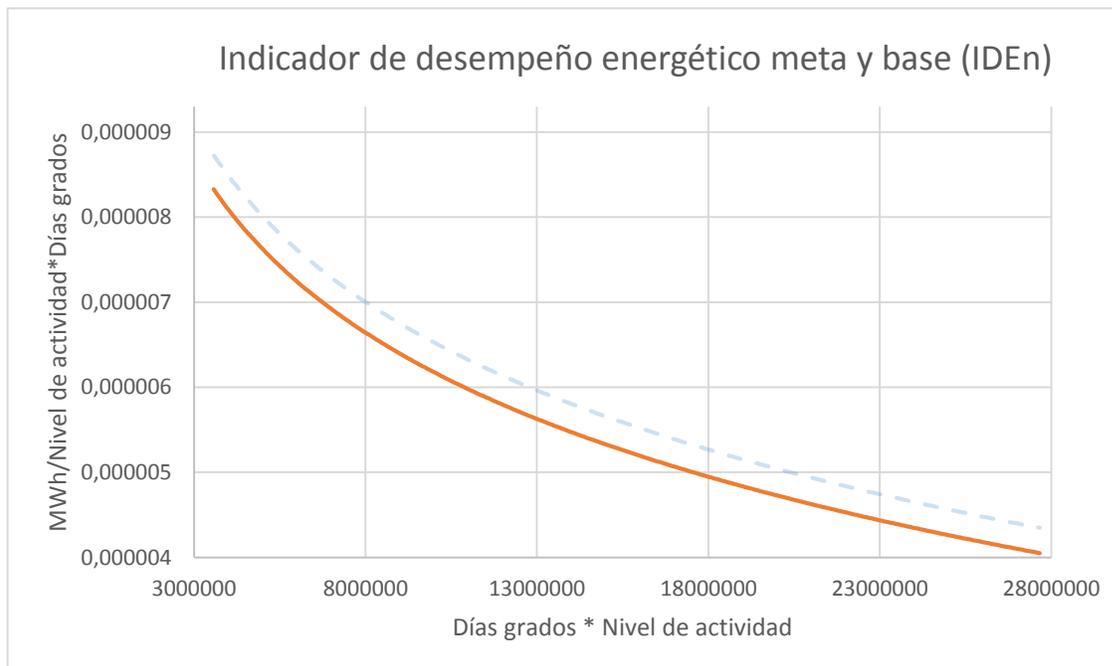


Figura 2.24 indicador de desempeño energético. Fuente: Elaboración propia.



**Conclusiones parciales.**

1. Frigorífico Cienfuegos utiliza como portador energético principal la energía eléctrica representando el 97,03% del consumo total opacando el resto de los portadores que emplea con porcentos insignificantes dirigiéndose el estudio hacia la electricidad.
2. Los usos significativos de la energía se identificaron en la refrigeración con un 94,19% y la zona donde se destina la mayor parte de la energía es la Sala de máquinas y cámaras frigoríficas correspondiéndose con su objeto social. Los equipos que usan la mayor cantidad de energía son los compresores AU400, los motores de difusores de cámaras, las bombas de agua, motores de renovación de aire y extractores y los compresores AU 200.
3. Se logró relacionar la variable climática Días Grados y el Nivel de Actividad con el consumo de electricidad obteniéndose un valor de correlación lineal de 0,8526 propiciando la propuesta de un indicador de desempeño energético definido como  $kWh/Nivel\ de\ actividad * Días\ Grados$ , pudiéndose definir la meta energética para alcanzar una mejor eficiencia.
4. Se evaluaron indicadores de desempeño energético relacionados con parámetros de diseño establecidos por la Norma NC 1072 del 2015: el REE (Razón de Eficiencia Energética) con un valor permisible de  $1,16\ kW/kW$  y el IDE con un valor no permisible de  $0,87\ kW/kW$ .

# *CAPITULO III.*

## Capítulo 3 : Oportunidades de mejora del desempeño energético.

Dentro de los usos significativos de la energía detectados en el capítulo 2 se encuentran los compresores AU400, los motores de difusores de cámaras, las bombas de agua, motores de renovación de aire y extractores y los compresores AU 200. Las mejoras planteadas a continuación están basadas en la reducción del consumo de estos equipos y en deficiencias detectadas. La implementación de estas oportunidades influye en un desempeño energético superior.

Las oportunidades de mejoras detectadas son las siguientes:

1. Seccionalización de las cámaras frigoríficas.
2. Escalonamiento de los compresores existentes.
3. Sustitución de compresores actuales por compresores de tornillo.
4. Reemplazo de las luminarias UHID (Ultra High Intensity Discharge) por luminarias LED (**light-emitting diode**).
5. Instalación de variadores de frecuencia.
6. Recontratación de la demanda.
7. Insular sistemas de tuberías adecuadamente.
8. Sustitución de motores existentes por motores de alta eficiencia.

De todas las oportunidades de mejoras antes mencionadas se hizo un estudio más profundo de la número 8 y 9.

### **3.1 Seccionalización de las cámaras frigoríficas.**

En el frigorífico de Cienfuegos las cámaras fueron diseñadas para el almacenamiento de 750 toneladas de producto. Los volúmenes de productos que se almacenan actualmente son bajos comparados con la capacidad total de almacenamiento quedando desocupada gran parte del espacio de las cámaras. Esto influye considerablemente en el consumo eléctrico debido a que se necesita

refrigerar todo el espacio de la cámara cuando solo está ocupada una pequeña parte de estas.

Con la seccionalización de las cámaras se podría distribuir frío solo a la parte donde están almacenados los productos logrando un ahorro energético y económico y mayor eficiencia energética.

### **3.2 Escalonamiento de los compresores existentes.**

Puesto que la empresa no siempre produce a toda su capacidad es necesario tener una tecnología que le permitirá utilizar la cantidad de compresores necesaria para vencer la carga que se encuentra dentro de las cámaras y a la misma vez asegurar que los compresores que se emplean representan la combinación que menos energía consumirá.

### **3.3 Sustitución de compresores actuales por compresores de tornillo.**

Los compresores actuales tienen aproximadamente 42 años de explotación y es recomendable sustituirlos. En esta situación lo más apropiado sería la sustitución de los compresores actuales por compresores de tornillo debido a sus ventajas de poder regular la capacidad y ahorrar más energía eléctrica.

*Ventajas de los compresores de tornillo sobre los compresores actuales:*

- Posibilidad de variar la carga sin afectar la eficiencia.
- Menor costo de mantenimiento: Relación 2.5 = 1
- Cuentan con menos partes móviles y por tanto susceptibles de problemas.

### **3.4 Reemplazo de las luminarias UHID (Ultra High Intensity Discharge) por luminarias LED.**

El frigorífico cuenta con 154 luminarias UHID cada una de ellas de 250W (Ver figura 3.1). La sustitución de este tipo de luminarias por luminarias LED (Light Emitting Diode) adecuadas puede representar una gran reducción del consumo de electricidad. Las luminarias LED generan menos calor y aportan mayor luminosidad

por lo que la carga térmica en el interior de las cámaras podría disminuir considerablemente y también sería necesario menor cantidad de luminarias.

La lámpara U-HID Mezcla de dos principios físicos en electrónica de iluminación, es la combinación de las tecnologías de plasma y HID (High Intensity Discharge).



*Figura 3.1 Luminarias empleadas en el frigorífico. Fuente: Elaboración propia.*

### **3.5 Instalación de variadores de frecuencia.**

La instalación de variadores de frecuencia en los motores de difusores de cámaras, las bombas de agua, motores de renovación de aire y extractores y en las bombas de amoníaco puede reducir considerablemente el consumo de electricidad. Estos equipos se ponen en funcionamiento diariamente y en conjunto representan el mayor uso de la energía. Además, los variadores de frecuencia alargarán la vida útil de estos equipos, ya que una de las ventajas de instalar variadores de frecuencia es el arranque suave de los motores y evitan el fenómeno de la cavitación en las bombas hidráulicas.

### **3.6 Recontratación de la demanda.**

En el epígrafe 2.2.5 se analizó cómo es el comportamiento de la demanda en el Frigorífico Cienfuegos. Teniendo en cuenta dicho análisis y los registros históricos se puede recontractar la demanda durante los meses de noviembre a marzo.

El pago anual de la demanda contratada es de  $650 \text{ kW} * \$7 * 12 = \$54600$  CUP (moneda nacional).

Si durante noviembre a marzo se recontractara para 560 kW, el pago anual sería  $54600 - 560 \text{ kW} * \$7 * 5 = \$35000$  CUP (moneda nacional) ahorrando aproximadamente un 35,9% del presupuesto empleado.

### **3.7 Insulación de sistemas de tuberías.**

Como puede apreciarse en la figura 3.2 el estado y colocación del aislamiento térmico no es correcto. La tubería está insulada con Armaflex en forma de coquilla, pero colocado de manera errónea creando puentes térmicos y con poliestireno expandido recubierto con un material metálico.

Teniendo en cuenta el deterioro y variedad de materiales empleados en el aislamiento térmico de una de las tuberías y de la incorrecta colocación, se propone la correcta colocación y el cálculo del espesor requerido para insular uniformemente la tubería afectada con Armaflex. (Ver figura 3.2)



Figura 3.2 Tubería incorrectamente insulada. Fuente: Elaboración propia.

La tubería mostrada en la figura 3.2 es de acero al carbono y forma parte de la línea de descarga del sistema de refrigeración. Las dimensiones de la tubería pueden apreciarse en la tabla 3.1. La temperatura del fluido que circula por el interior oscila entre los -8 y 0 °C.

Tabla 3-1 Dimensiones de la tubería. Fuente: Elaboración propia.

Tamaño nominal de tubería (pulg)	Diámetro exterior (mm)	Espesor de pared (mm)	Diámetro interior (mm)	Longitud insulada erróneamente(m)
8	219,1	12,7	193,7	21

### 3.7.1 Cálculo del espesor de aislamiento.

El procedimiento del cálculo del espesor del aislamiento térmico es según el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.

$$d = \frac{D}{2} \left[ e^{\left( \frac{\lambda}{\lambda_{ref}} \cdot \ln \frac{D+2d_{ref}}{D} \right)} - 1 \right]$$

Ecuación 3.1

$D$ - Diámetro exterior de la tubería.

$\lambda_{ref}$ -Conductividad térmica del material de referencia a 10°C según RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios). (W/(m·K))

$\lambda$ - Conductividad térmica del material empleado a 10°C. (W/(m·K))

$d_{ref}$ - Espesor mínimo de referencia, según tablas del RITE (Reglamento de instalaciones Térmicas en los Edificios). (mm)

$d$ -Espesor del aislamiento calculado. (mm)

El valor de conductividad térmica del material de referencia a 10°C se selecciona según el recomendado por el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios  $\lambda_{ref} = 0.040 \text{ W}/(m \cdot K)$ .

La conductividad térmica del material empleado a 10°C es  $\lambda = 0.037 \text{ W}/(m \cdot K)$  (Extraído del anexo 7).

El espesor mínimo de referencia  $d_{ref} = 50 \text{ mm}$ . Se seleccionó dicho valor porque la temperatura del fluido se encuentra dentro del rango de -10 a 0 °C y el diámetro exterior de la tubería es mayor de 140 mm. (Ver anexo 6)

Sustituyendo en la ecuación 3.1:

$$d = \frac{219,1}{2} \left[ e^{\left( \frac{0.037}{0.040} \cdot \ln \frac{219,1+2 \cdot 50}{219,1} \right)} - 1 \right]$$

$$d = 45,56 \text{ mm}$$

Una vez obtenido el espesor de aislamiento calculado se procede a normalizarlo según el catálogo de Armacell Enterprise GmbH & Co. KG (Ver anexo 5).

Se sugiere el uso de planchas autoadhesivas en rollo por la facilidad, rapidez y uniformidad del montaje.

La plancha indicada es la AF-50MM/EA con un espesor de 50 mm, una longitud de 5 m y ancho de 1 m.

La plancha debe ser colocada como se muestra en la figura 3.3 para aprovecharla al máximo.

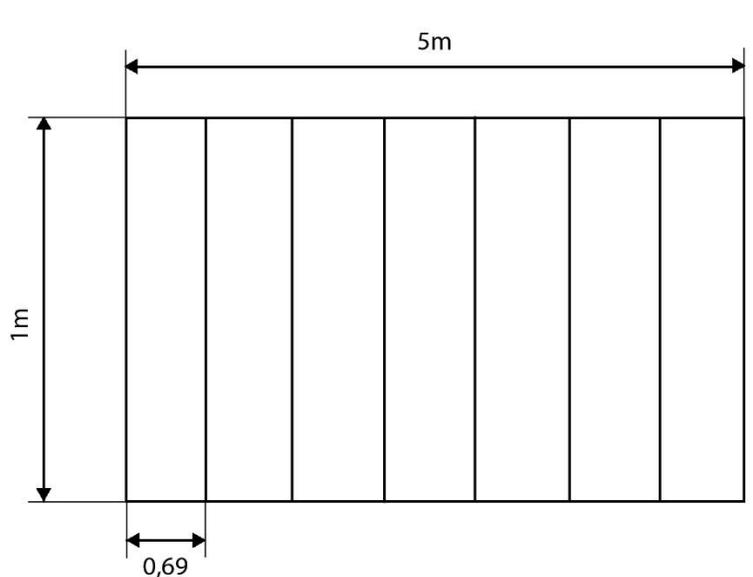


Figura 3.3 Disposición de la plancha de Armaflex. Fuente: Elaboración propia.

Para calcular la cantidad requerida de Armaflex es necesario obtener la longitud de la circunferencia que describe el diámetro exterior de la tubería a aislar:

$$L = 3,14 \cdot 0,2191 = 0,687974 \approx 0,69 \text{ m}$$

Como la longitud de la plancha de Armaflex es 5m de largo y 1m de ancho entonces se deben realizar cortes cada 0.69 a lo largo de los 5 m lo que da como resultado que se obtiene 7 cortes de cada plancha con un largo de 1m, necesiándose solamente 3 planchas y 42 presillas ajustables para asegurar que no existan puentes térmicos en cada unión.

Evaluando económicamente:

Para la compra de 3 planchas se necesitan 1806,15 CUC (Ver anexo 5) y 42 presillas a 1 CUC. En total el costo de los materiales asciende a 1848,15 CUC un valor no significativo comparado con el ahorro que se consigue con respecto a una tubería sin aislar.

### 3.8 Sustitución de motores existentes por motores de alta eficiencia.

Otra propuesta puede ser cambiar los motores que van acoplados a los compresores AU400 por motores de alta eficiencia. Los datos de chapa del motor de los compresores se pueden apreciar en la tabla 3.2. Estos motores son de eficiencia estándar.

Tabla 3-2 Datos de chapa motor del AU400. Fuente: Elaboración propia.

Potencia nominal	Frecuencia de la electricidad	Tamaño	Velocidad nominal	Factor de potencia	Rendimiento	Voltaje
132 kW	60Hz	-	1755 rpm	0,83	0,895	440 V

El precio estimado de un motor de eficiencia estándar (IE1) de 1800 rpm se puede hallar mediante la ecuación 3.2, que fue obtenida de la correlación de datos de potencia nominal y precio en CUP. (de León García, 2017)

$$y = 0,0898x^2 + 28,833x + 342,39 \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Donde la variable “y” es el precio y “x” es la potencia nominal del motor en kW.

Sustituyendo en la ecuación 3.2:

$$y = 0,0898 \cdot 132^2 + 28,833x + 342,39 \quad \text{Ecuación 3.3}$$

$$y = 5713 \text{ CUP}$$

Estos motores que son usados en el Frigorífico Cienfuegos tienen aproximadamente 42 años de explotación. El precio calculado anteriormente es la estimación del precio del motor, pero teniendo en cuenta todos estos años de explotación debe hacerse un avalúo, aún sin utilizar esa herramienta se puede estimar que tiene un valor de 500 CUP en vez de 5713 CUP y utilizar dicho valor para calcular el VAN (Valor Actual Neto) diferencial según el método planteado por Gabriel de León García.

La selección del motor de alto rendimiento se efectuó por el catálogo de motores SIEMENS (Ver anexo 8). Los datos principales del motor seleccionado se muestran en la tabla 3.3.

Tabla 3-3 Datos de chapa motor de alta eficiencia seleccionado . Fuente: Elaboración propia.

Potencia nominal	Frecuencia de la electricidad	Tamaño	Velocidad nominal	Factor de potencia	Rendimiento	Voltaje
132 kW	60Hz	315M	1792 rpm	0,83	0,95	400 V

Según Gabriel de León García el precio estimado de un motor de eficiencia alta (IE2) de 1800 rpm se puede hallar mediante la ecuación 3.4 que fue obtenida mediante la correlación de datos de potencia nominal y precio en CUP. (de León García, 2017)

$$y = -0,2203x^2 + 168,95x + 427,34$$

Ecuación 3.4

Donde la variable “y” es el precio y “x” es la potencia nominal del motor en kW.

Sustituyendo en la ecuación 3.4:

$$y = -0,2203 \cdot 132^2 + 168,95x + 427,34$$

$$y = 18890 \text{ CUP}$$

Los indicadores económicos para el análisis del VAN (Valor Actual Neto) diferencial son los siguientes: vida útil del motor seleccionado igual a 15 años, precio de la energía 0,15 CUP/kWh aplicando la media entre el horario diurno y madrugada, la tasa de interés bancario igual a 8% según la Dirección General de Tesorería del Banco Central de Cuba en las Circulares 5/2011 y 2/2012, el impuesto sobre la ganancia es del 35% según artículo 97 de la Ley 113 publicada en la Gaceta Oficial No. 053 Ordinaria de 21 de noviembre de 2012.

Se consideró una inflación de la energía del 5%, teniendo las variaciones futuras de los precios del combustible. La depreciación se considera lineal. La eficiencia a los factores de carga se estableció en un 89% para el motor instalado y en un 95 % al propuesto.

El flujo de caja para cada año  $i$ , después de los impuestos, se calcula como:

$$FC_i = [(\Delta E_i \cdot Ce) - Dep] \cdot \left(1 - \frac{I}{100}\right) + Dep \quad \text{Ecuación 3.5}$$

La depreciación lineal se calcula como:

$$Dep = \frac{I_0}{n} \quad \text{Ecuación 3.6}$$

La energía en el año se calcula como:

$$\Delta E_i = \left( \frac{Pn_1 \times \frac{FC_1}{100}}{(\eta_1)} - \frac{Pn_2 \times \frac{FC_2}{100}}{(\eta_2)} \right) \times t \quad \text{Ecuación 3.7}$$

donde:

$I$  es la tasa de impuestos.

$Dep$  es la depreciación, que se considera lineal.

$I_0$  es la inversión inicial, en CUP.

$Ce$  es el precio de la energía, igual al precio promedio (0,15 CUP/kWh).

$\Delta E_i$  es la energía ahorrada en el año  $i$ -ésimo, en kWh/año.

$Pn_1$  y  $Pn_2$  son las potencias nominales del motor original y el propuesto respectivamente en kW.

$FC_1$  y  $FC_2$  son los factores de carga del motor original y el propuesto respectivamente en %.

$\eta_1$  y  $\eta_2$  son las eficiencias del motor original y el propuesto respectivamente a los factores de carga especificados.

$t$  es el tiempo de operación anual, en h.

Para actualizar estos flujos de caja al año en que se realiza la inversión, se le aplica el factor de descuento, de manera que los flujos de caja descontados ( $FCD_i$ ) para cada año  $i$  se calculan como:

$$FCD_i = FC_i \cdot FD_i \quad \text{Ecuación 3.8}$$

Siendo el factor de descuento:

$$FD_i = \frac{1}{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^i} \quad \text{Ecuación 3.9}$$

Donde:

r- es la tasa de interés.

El Valor Actual Neto es igual a la suma de todos los flujos de caja descontado durante la vida útil de la inversión lo que algebraicamente se expresa como:

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=1}^n FCD_i \quad \text{Ecuación 3.10}$$

Todos los datos para realizar el gráfico de la figura fueron calculados empleando el método anteriormente descrito en el software Microsoft Excel 2016 en una hoja de cálculo desarrollada por Gabriel de León García durante su Tesis en opción al grado académico de Master en Eficiencia Energética.

En la figura 3.4 se observa que la inversión se recupera aproximadamente en unos cuatro años. Por lo que es viable la compra y sustitución del motor de alta eficiencia. Se debe tener en cuenta que no es necesario cambiar instantáneamente todos los

motores de los compresores AU400 el cambio puede ser gradual. La inversión en los motores de alta eficiencia puede ser costosa, pero es efectiva en el incremento de la eficiencia energética de la empresa y por consiguiente en su desempeño energético y economía.

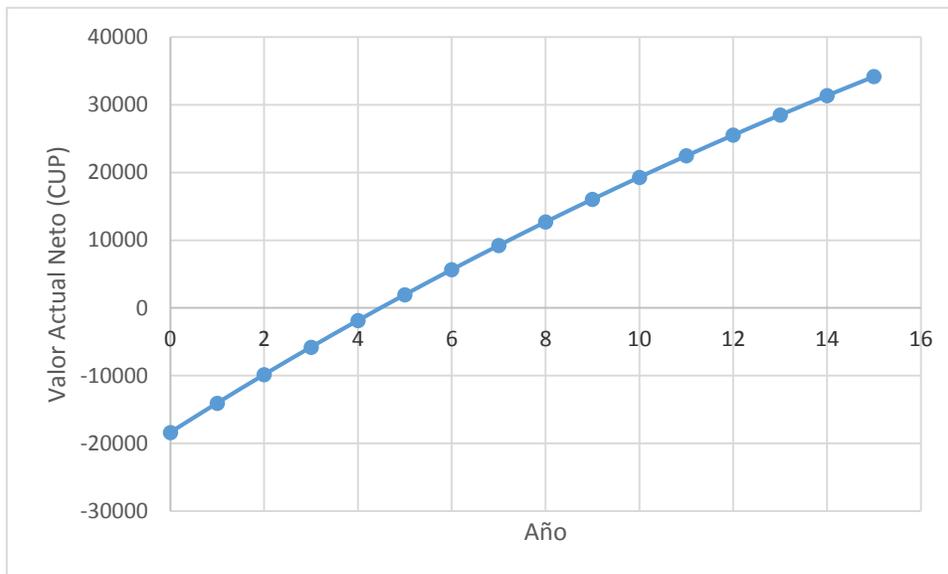


Figura 3.4 Valor Actual Neto. Fuente: Elaboración propia.

### Conclusiones parciales:

1. Una recontractación de la demanda a 560 kW durante el período de noviembre a marzo permite el ahorro de aproximadamente un 35,9% del presupuesto empleado por este concepto, pudiendo emplear lo ahorrado en proyectos que permitan mejorar el desempeño energético.
2. Se decidió para aislar térmicamente la tubería, espuma elastomérica o Armaflex como es llamado comercialmente por sus excelentes propiedades físicas y baja conductividad térmica. Se seleccionó en forma de plancha para reducir el tiempo de montaje y el bajo costo de mano de obra. Este aislamiento podría aportar un 85-90% de ahorro con respecto a una tubería sin aislar.

3. La compra y sustitución de motores de alta eficiencia es viable con un ahorro anual de 43632,6 kWh para una inversión inicial de 18390 CUP que se recupera en aproximadamente 4 años.

## Conclusiones generales.

1. Un sistema de gestión energética es un conjunto de elementos interrelacionados que interactúan para establecer una política y objetivos energéticos, procesos y procedimientos para alcanzar esos objetivos. Para implementarlo satisfactoriamente es preciso que esté involucrado en todas las etapas del proceso productivo de la organización, en cualquier cambio en el control de procesos y en el desarrollo de nuevos proyectos.
2. Siguiendo los requisitos establecidos para la etapa de planificación de la NC ISO 50001:2011 los usos significativos de la energía se identificaron en la refrigeración con un 94,19% y la zona donde se destina la mayor parte de la energía es la Sala de máquinas y cámaras frigoríficas correspondiéndose con su objeto social. Los equipos que usan la mayor cantidad de energía son los compresores AU400, los motores de difusores de cámaras, las bombas de agua, motores de renovación de aire, extractores y los compresores AU 200. Se logró relacionar la variable climática Días Grados y el Nivel de Actividad con el consumo de electricidad obteniéndose un valor de correlación lineal de 0,8526 propiciando la propuesta de un indicador de desempeño energético definido como kWh/Nivel de actividad\*Días Grados, pudiéndose definir la meta energética para alcanzar una mejor eficiencia.
3. Se evaluaron dos proyectos para mejorar el desempeño energético: el montaje de aislamiento térmico en una tubería incorrectamente insulada, la sustitución de los motores del AU400 por motores de alta eficiencia y la recontractación de la demanda contratada. Se detectaron 6 oportunidades más de mejora del desempeño energético.
4. Los resultados obtenidos son de suma utilidad para la futura implementación de un sistema de gestión energética tomando como referencia la NC ISO 50001:2011. Se utilizaron herramientas estadísticas y procedimientos que contribuyen fundamentalmente al cumplimiento de requisitos establecidos en la etapa de planificación, así como bibliografía actualizada relacionada con las buenas prácticas que contribuyen a la eficiencia energética.

## Recomendaciones.

1. Continuar el estudio para la obtención de un indicador de desempeño energético más representativo en el que intervengan las variables de: tipo de productos almacenados y su temperatura de refrigeración, aprovechamiento del espacio útil de almacenamiento diario.
2. Valorar la implementación de un sistema integrado de gestión pudiendo combinando con las siguientes normas: NC ISO 9001:2015 Sistema de Gestión de la Calidad. Requisitos con orientación para su uso. NC ISO 50001:2011. Sistemas de gestión de la energía. Requisitos con orientación para su uso. NC ISO 14 001: 2015: Sistema de Gestión Medio Ambiental. Requisitos con orientación para su uso.
3. Establecer controles estadísticos del nivel de actividad diaria por cámaras, tipos de productos y aprovechamiento del espacio útil de almacenamiento.
4. Realizar un estudio más detallado de las oportunidades de mejoras detectadas.

## Revisión Bibliográfica.

Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente. (2014). Conferencia Implementación de la norma NC ISO-50001 en el sector hotelero.

*Conferencia Regional hacia el establecimiento de una Norma Internacional para un sistema de Gestión de la Energía.* (2008).

Corporación Armacell Enterprise GmbH & Co. KG . (2017). Catálogo de aislamiento térmico Armaflex.

Corporación Intarcom. (2012). Equipos de Refrigeración de Gama Industrial. *Catálogo de producto y guía de selección.*

Corporación Laboratorio del ahorro. (s.f.). Guía del equipamiento.

Corporación SIEMENS. (1999). Catálogo de motores SIEMENS.

Corporación Smarkia. (2016). *Top 10 indicadores del desempeño energético IDEns por sectores de actividad.* Recuperado de [www.smarkia.com](http://www.smarkia.com)

de León García, G. (2017). *Oportunidades de ahorro de energía por empleo de motores eficientes en la UEB Central Azucarero "14 de Julio".*(Tesis de Maestría) Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos

Degree Days for Professional Applications in Air conditioning and Refrigeration (2017). Recuperado de [www.degree-day.net](http://www.degree-day.net)

Dovendra Puran, R. (2008). *Estudio Energético del Frigorífico Agropecuario de Cienfuegos.* (Trabajo de diploma) Universidad de Cienfuegos, Cienfuegos

Flores Díaz, L. (2016). *Conferencia Sistemas de Gestión de la Energía para instalaciones industriales del Sector Público.* Ciudad México.

Massó, Y. (2008). El aislamiento térmico en el nuevo RITE.

Ministerio de Finanzas y Precios de Cuba. (2012). Ley 113 "Sistema Tributario en Cuba". *Gaceta Oficial Ordinaria*.

Oficina Nacional de Normalización. (2015). *Norma Cubana 1072*. La Habana.

ONURE. (2016). Conferencia Política para el desarrollo de las fuentes renovables de energía y la eficiencia energética en Cuba. La Habana, Cuba.

Optima Grid. (2012). Artículo Buenas Prácticas para el ahorro de energía de la empresa.

Organización Internacional de Normalización. (2011). Norma Internacional ISO 50001. Suiza.

Rivas, P. (2017). Artículo "Ahorro de energía con variadores de frecuencia".

Rivas, P. (2017). Artículo "Ahorro energético con aislamiento térmico para tuberías".

Rodríguez Triana, M. C. (2016). *Modelación del sistema de generación de agua caliente del Hotel Cayo Santa María*. (Trabajo de diploma) UCLV, Marta Abreus. Santa Clara, Cuba.

Ruiz Díaz, D. (2016). *Estudio de cargas en el hotel Meliá Cayo Santa María*. (Trabajo de diploma) UCLV, Marta Abreus. Santa Clara, Cuba.

Verucchi, C. J., Ruschetti, C. R., & Kazlauskas, G. E. (December de 2013). High Efficiency Electric Motors: Economic and Energy Advantages. *IEEE Latin America Transactions*, 11(6), 1325-1331.

## Anexos.

Anexo 1 Días grados en el año 2016.

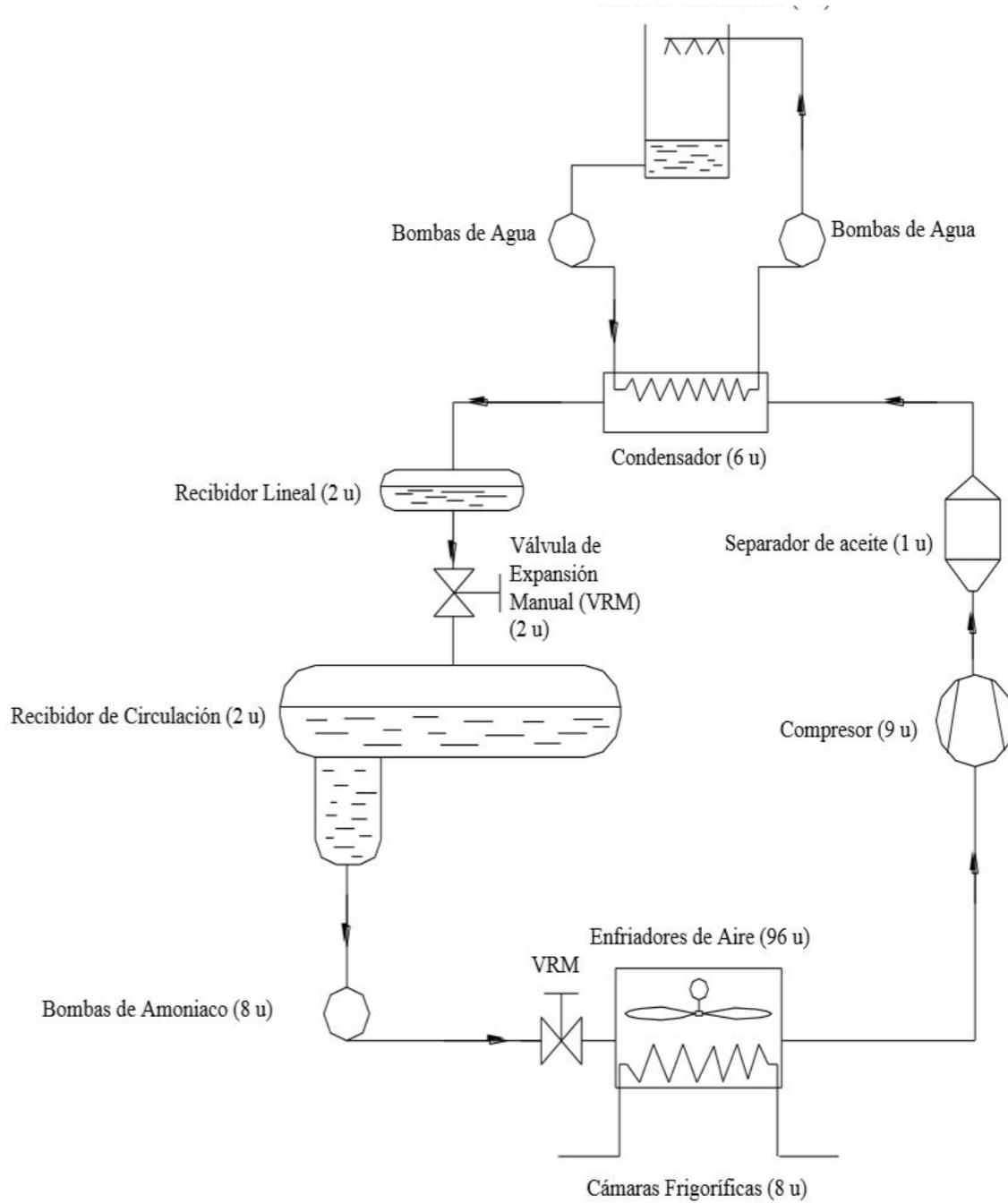
Días grados en el año 2016														
	Temperatura de referencia en grados Celsius													% Estimado
	17	17,5	18	18,5	19	19,5	20	20,5	21	21,5	22	22,5	23	
Enero	169	155	141	127	114	102	89	79	68	59	50	44	37	0,4
Febrero	148	136	124	113	102	92	82	73	64	57	49	43	37	0,1
Marzo	233	218	203	188	173	160	146	133	120	108	96	86	76	0,2
Abril	264	249	234	219	205	190	175	162	148	135	122	111	100	0,3
Mayo	305	290	274	259	244	228	213	198	183	168	154	140	126	0,4
Junio	311	296	281	266	251	236	221	206	191	176	161	147	132	3
Julio	329	314	298	283	267	252	236	221	205	190	174	159	143	1
Agosto	326	310	295	279	264	248	233	217	202	186	171	156	140	0,3
Septiembre	307	292	277	262	247	232	217	202	187	172	157	143	128	0,3
Octubre	273	258	242	227	211	196	180	166	151	136	122	109	96	0,2
Noviembre	193	178	164	151	138	125	113	102	91	82	73	65	58	0,4
Diciembre	247	231	216	201	185	171	156	142	128	116	104	93	82	0,3

Anexo 2 Días grados en el año 2015.

Días grados en el año 2015														
	Temperatura de referencia en grados Celsius													% Estimado
	17	17,5	18	18,5	19	19,5	20	20,5	21	21,5	22	22,5	23	
Enero	197	183	169	155	141	128	115	104	93	83	73	65	57	0,03
Febrero	164	153	141	130	119	109	99	90	80	72	64	57	50	1
Marzo	260	245	229	214	199	184	169	155	141	128	115	104	93	0,1
Abril	291	276	261	246	231	217	202	187	172	158	143	130	117	1
Mayo	281	265	250	234	219	203	188	173	158	143	128	115	102	0,4
Junio	297	282	267	252	237	222	207	192	177	162	148	133	119	0,3
Julio	337	322	306	291	275	260	244	229	213	198	183	168	153	4
Agosto	329	313	298	282	267	251	236	220	205	189	174	159	144	4
Septiembre	304	290	274	260	244	230	214	200	184	170	154	140	124	0,4
Octubre	289	274	258	243	227	212	196	181	165	150	135	121	107	2
Noviembre	244	229	214	199	184	170	155	141	127	114	100	88	76	0,2
Diciembre	246	231	215	200	184	169	154	139	124	110	96	85	73	0,2

Nota Anexo 1 y 2: Se realizaron estimaciones debido a datos que faltaban. La columna "% Estimado" muestra cuanto fue afectada cada cifra (El valor 0% significa que es preciso y 100% que no lo es). Las mediciones se realizaron en la estación de Cienfuegos a 80.41 grados de longitud Oeste y 22.15 grados de latitud Norte.

Anexo 3 Diagrama monolineal simplificado de la instalación frigorífica de Frigorífico Cienfuegos.



Anexo 4 Inventario de equipos eléctricos.

Equipos	Zona	Cantidad	Potencia unitaria (W)	Energía (kWh)/mes
Ventilador de pared	Oficina energético	1	40	4,4
Lámpara de 40w	Oficina energético	1	32	5,632
Computadora personal	Oficina energético	1	200	35,2
Aire acondicionado de ventana ¼ T	Oficina energético	1	560	36,96
Impresora	Oficina energético	1	120	0,792
Lámpara de 40w	Oficina seguridad y protección y asesor jurídico	1	32	5,632
Ventilador de pared	Oficina seguridad y protección y asesor jurídico	1	40	4,4
Computadora personal	Oficina seguridad y protección y asesor jurídico	1	200	35,2
Impresora	Oficina seguridad y protección y asesor jurídico	1	120	0,792
Aire acondicionado de ventana ¼ T	Oficina de capital humano	1	560	36,96
Lámpara de 40w	Oficina de capital humano	2	32	11,264
Computadora personal	Oficina de capital humano	1	200	35,2
Lámpara de 40w	Oficina secretaria	2	32	11,264
Fotocopiadora	Oficina secretaria	1	400	8,8
Impresora laser	Oficina secretaria	1	90	1,98
Computadora personal	Oficina secretaria	1	200	35,2
Ventilador de pie	Oficina secretaria	1	50	5,5
Aire acondicionado de ventana ¼ T	Oficina secretaria	1	560	36,96
Computadora personal	Oficina dirección	1	200	35,2
Impresora laser	Oficina dirección	1	90	1,98
TV LED Marca Haier 32 pulgadas	Oficina dirección	1	60	1,32
Ventilador de pared	Oficina dirección	2	40	8,8

Equipos	Zona	Cantidad	Potencia unitaria (W)	Energía (kWh)/mes
Aire acondicionado de ventana (1,5)	Oficina dirección	1	560	36,96
Lámpara de 40w	Oficina dirección	2	32	11,264
Ventiladores de pared	Oficina salón de reuniones	4	40	7,04
Lámpara de 40w	Oficina salón de reuniones	6	32	12,672
Olla arrocera	Oficina salón de reuniones	1	700	3,85
Olla frijolera	Oficina salón de reuniones	1	800	8,8
Cafetera electrica	Oficina salón de reuniones	1	540	2,97
Tostadora de pan estilo americana	Oficina salón de reuniones	1	650	3,575
Lámpara de 40w	Oficina economía	5	32	28,16
Computadora personal	Oficina economía	4	200	140,8
Aire acondicionado de ventana ¾	Oficina economía	2	560	73,92
Aire acondicionado de ventana ¾	Oficina economía	1	560	36,96
Ventiladores de pie	Oficina economía	2	50	11
Impresora laser	Oficina economía	1	90	1,98
Impresora	Oficina economía	1	120	2,64
Computadora cliente ligero	Oficina comercial	3	180	95,04
Aire acondicionado de ventana ¾	Oficina comercial	1	560	36,96
Lámpara de 40w	Oficina comercial	4	32	22,528
Lámpara de 40w	Oficina actividades técnicas	5	32	42,24
Computadora personal	Oficina actividades técnicas	1	200	35,2
Aire acondicionado de ventana ¾	Oficina actividades técnicas	1	560	36,96
Nevera	Cocina	3	200	158,4
Refrigerador	Cocina	1	170	44,88
Lámpara de 40w	Cocina	2	32	8,448

Equipos	Zona	Cantidad	Potencia unitaria (W)	Energía (kWh)/mes
Lámpara de 20W	Cocina	6	18	14,256
Olla arrocera	Cocina	1	700	15,4
Olla frijolera	Cocina	1	800	17,6
Juguera	Cocina	1	280	4,928
Cámara frigorífica 12000 BTU	Cocina	1	2000	528
Caja de agua	Cocina	1	125	33
TV LED Marca Haier 32 pulgadas	Cocina	1	60	0,792
Bombillos de 250W	Sala de máquinas y cámaras frigoríficas	154	250	5082
Motores eléctricos difusores de cámara	Sala de máquinas y cámaras frigoríficas	92	5500	33396
Bombas de amoniaco	Sala de máquinas y cámaras frigoríficas	11	4800	3484,8
Compresores AU 400	Sala de máquinas y cámaras frigoríficas	7	130000	60060
Compresores AU 200	Sala de máquinas y cámaras frigoríficas	2	90000	15840
Bombas de agua	Sala de máquinas y cámaras frigoríficas	6	18500	7326
Bombas de agua	Sala de máquinas y cámaras frigoríficas	12	30000	23760
Motores de renovación de aire y extractores	Sala de máquinas y cámaras frigoríficas	32	30000	21120
Motor de piedra esmeril	Sala de máquinas y cámaras frigoríficas	1	5500	60,5
Motor de la sierra	Sala de máquinas y cámaras frigoríficas	1	5500	60,5
Compresor de aire	Sala de máquinas y cámaras frigoríficas	1	5500	60,5
Compresor de aire	Sala de máquinas y cámaras frigoríficas	1	3200	35,2
Torno horizontal	Sala de máquinas y cámaras frigoríficas	1	7500	165
Cargadores de motorinas eléctricas	Sala de máquinas y cámaras frigoríficas	13	960	2196,48
Cargadores de montacargas	Sala de máquinas y cámaras frigoríficas	2	2880	1013,76

Equipos	Zona	Cantidad	Potencia unitaria (W)	Energía (kWh)/mes
Lámpara de 20w	Sala de máquinas y cámaras frigoríficas	1	20	3,52
Ventilador de pared	Sala de máquinas y cámaras frigoríficas	1	40	7,04
Planta de radiocomunicaciones	Sala de máquinas y cámaras frigoríficas	1	20	10,56
Aire acondicionado de ventana ¾	Oficina Servidor	1	560	36,96
Computadora servidor	Oficina Servidor	1	785	414,48
Lámpara de 20W	Oficina Servidor	1	18	3,168

Anexo 5 Lista de precios válida para España de Armaflex

## PLANCHAS AUTOADHESIVAS EN ROLLO

Anchura 1,0 m, Microban®



Referencia				
	Espesor de aislamiento [mm]	Longitud [m]	m <sup>2</sup> /cartón	€/m <sup>2</sup>
AF-06MM/EA	6,0	15	15	28,35
AF-10MM/EA	10,0	10	10	33,92
AF-13MM/EA	13,0	8	8	42,19
AF-16MM/EA	16,0	7	7	53,64
AF-19MM/EA	19,0	6	6	60,18
AF-25MM/EA	25,0	4	4	68,74
AF-32MM/EA	32,0	3	3	85,23
AF-50MM/EA	50,0	5	5	120,41

### Observaciones

Una plancha de 1m<sup>2</sup>, puede ser sustituida por dos de 0,5m<sup>2</sup>.

Gama contra pedido específico. Consultar cantidades mínimas y plazo de entrega.

Anexo 6 Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos fríos que discurren por el interior de edificios según el Reglamento de instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)

Diámetro exterior (mm)	Temperatura mínima del fluido (°C)		
	-10...0	> 0...10	> 10
$D \leq 35$	30	20	20
$35 < D \leq 60$	40	30	20
$60 < D \leq 90$	40	30	30
$90 < D \leq 140$	50	40	30
$140 < D$	50	40	30

## DATOS TÉCNICOS

Aislamiento térmico flexible de célula cerrada, con elevada resistencia a la difusión de vapor de agua, baja conductividad térmica y protección antimicrobiana Microban® incorporada.

Propiedades	Valor	Norma
<b>Rango de temperaturas</b>		
	Temperatura máx. de trabajo	+110 °C
	Temperatura mín. de trabajo	-50 °C
<b>Conductividad térmica *</b>		
	Coquillas (AF-1 a AF-4)	$\lambda_{0^{\circ}\text{C}} \leq 0,033 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
	Coquillas (AF-5 y AF-6),	$\lambda_{0^{\circ}\text{C}} \leq 0,036 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
	Planchas (AF-10MM a AF-32MM) y cinta	$\lambda_{0^{\circ}\text{C}} \leq 0,033 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
	Plancha AF-36MM y 50MM	$\lambda_{0^{\circ}\text{C}} \leq 0,036 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
<b>Resistencia a la difusión del vapor de agua</b>		
	Planchas (AF-3MM a AF-32MM) y coquillas (AF-1 a AF-4)	$\mu \geq 10000$
	Plancha AF-50MM y coquillas (AF-5 y AF-6)	$\mu \geq 7000$
<b>Comportamiento al fuego</b>		
<b>Reacción al fuego</b>	Coquillas	B <sub>1</sub> -s3, d0
	Planchas y cinta	B-s3, d0
<b>Comportamiento en caso de incendio</b>		
Autoextinguible, no gotea, no propaga la llama.		
<b>Rendimiento acústico</b>		
<b>Reducción de la transmisión del ruido estructural</b>		
	Atenuación acústica	$\leq 28 \text{ dB (A)}$
<b>Otras supervisiones</b>		
	Supervisión conforme a Factory Mutual	UBC26-3 / DIN 5510-2 / DIN 54837 I
	Supervisión conforme a UL	UL 94 / UL 746C
	Supervisión conforme a Sector Naval	MED 96/98/EC MODULE D
<b>Otras características técnicas</b>		
<b>Observaciones</b>	Declaración de Prestaciones disponible según lo establecido en el Artículo 7(3) del Reglamento (EU) No 305/2011 en nuestra página web: <a href="http://www.armacell.com/DoP">www.armacell.com/DoP</a> Declaración Ambiental de Producto (EPD) Tipo III. Documento número "EPD-ARM-20150060-IBB1-DE".	
<b>Tiempo de almacenaje</b>	Material autoadhesivo: 1 año Material no autoadhesivo: indefinido Debe almacenarse en salas limpias y secas, con una humedad relativa normal (50% a 70%) y a temperatura ambiente (0°C a 35°C)	
<b>Característica antimicrobiana</b>	Microban® Protección antimicrobiana activa incorporada. No se observa la proliferación de hongos.	ASTM G21 ASTM 1338
<b>Protección a la intemperie</b>	AF/Armaflex expuesto a la intemperie, se protegerá pasadas 36 horas y antes de 3 días después de su instalación, con un recubrimiento resistente a la radiación solar. Recomendamos la pintura Armafinish o los recubrimientos Arma-Chek.	

Anexo 9 Fotos del frigorífico Cienfuegos.  
 Anexo 8 Catálogo SIEMENS.



3

		Potencia nominal		Factor de potencia cos φ		Corriente nominal a 400 V	
		50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz
0,75	1,0	1LA9 083-4KA...	1400 1720 81 82,5	0,71 0,72	0,65 0,65	0,20 0,29	0,53
1,1	1,5	90 S 1LA9 090-4KA...	1430 1745 82 84	0,76 0,73	0,67 0,67	0,25 0,25	0,53
1,5	2,0	90 L 1LA9 096-4KA...	1420 1735 82,5 84	0,81 0,81	0,78 0,78	0,25 0,25	0,53
2,2	3,0	100 L 1LA9 106-4KA...	1435 1750 85 87,5	0,82 0,81	0,81 0,81	0,25 0,25	0,53
3,0	4,0	1LA9 107-4KA...	1410 1730 83 85,5	0,82 0,79	0,82 0,79	0,25 0,25	0,53
4,0	5,0	112 M 1LA9 113-4KA...	1440 1755 87 87,5	0,83 0,81	0,83 0,81	0,25 0,25	0,53
5,5	7,5	132 S 1LA9 130-4KA...	1455 1765 89 89,5	0,83 0,80	0,83 0,80	0,25 0,25	0,53
7,5	10	132 M 1LA9 133-4KA...	1455 1765 90 89,5	0,83 0,80	0,83 0,80	0,25 0,25	0,53



0,85	20,5			0,85	27,5		
0,83	34,5			0,83	40,5		
0,86	53			0,86	67		
0,85	82			0,86	98		
0,87	131			0,86	159		
0,84	198			0,83	240		
0,85	280			0,85	280		
0,66	2,0			0,66	5,4		
0,64	2,8			0,77	9,5		
0,62	4,0			0,73	12,0		
0,70	17,1			0,77	23,0		
0,75	31,5						
15	20	180 L 1LA9 186-6WA...	970 1175 91 90,2	0,75 0,75	0,75 0,75	0,35 0,35	0,53
18,5	25	200 L 1LA9 206-6WA...	975 1175 91 91,7	0,77 0,75	0,77 0,75	0,38 0,38	0,53
22	30	1LA9 207-6WA...	975 1175 91,5 91,7	0,77 0,75	0,77 0,75	0,45 0,45	0,53
30	40	225 M 1LA6 223-6GA...	980 1185 92,6 93,0	0,82 0,82	0,82 0,82	0,57 0,57	0,53
37	50	250 M 1LA6 253-6GA...	984 1186 93,4 93,0	0,81 0,81	0,81 0,81	0,71 0,71	0,53
45	60	280 S 1LA6 280-6GA...	984 1186 93,2 93,6	0,85 0,85	0,85 0,85	0,82 0,82	0,53
55	75	280 M 1LA6 283-6GA...	984 1186 93,2 93,6	0,85 0,85	0,85 0,85	0,82 0,82	0,53
75	100	315 S 1LA6 310-6GA...					
90	125	315 M 1LA6 313-6GA...					
110	150	315 L 1LA6 317-6GA...					
132	175	1LA6 318-6GA					

Complementos de la clave

Tipo de motor	Penúltima p de la tensión
50 Hz	230 VΔ /
	400 VY
1LA9 050 a 1LA9 096	1
1LA9 106 a 1LA9 207	1
1LA6 220 a 1LA6 313	1
1LA6 316 a 1LA6 318	-



cifra característica constructiva	
sin sobrecarga	con sobrecarga
185	IMV1
	IMV1
sin c.p.	con c.p.
1	4
1	4
1	4
8	4

Anexo 10 Equipos deteriorados de la instalación frigorífica.

