



UNIVERSIDAD
DE CIENFUEGOS
CARLOS RAFAEL RODRÍGUEZ

Facultad De Ingeniería
Departamento De Ingeniería Mecánica
Carrera Ingeniería Mecánica

Tesis en opción al Título de Ingeniero Mecánico.

Título: Bases para la implementación de un Sistema de Gestión de la energía en la Filial Frigorífico Cienfuegos según la NC-ISO 50001:2019.

Autor: Jorge Tomás Pérez Machado.

Tutor: M. Sc. Kelvin E. Martínez Santos.

CIENFUEGOS, CUBA.
2022

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

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

Firma del autor.

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

Información Científico Técnico
Nombre y Apellidos. Firma.

Firma. Vice Decano.

Firma del Tutor. Nombre y Apellidos.

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

PENSAMIENTO.

“Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica:

La voluntad.”

Albert Einstein.

DEDICATORIA.

A mis padres Yahumara Machado y Jorge Luis por siempre apoyarme en mis decisiones como estudiante y orientarme para ser mejor cada día.

A mi esposa por estar junto a mí en la elaboración de este proyecto y brindarme todo su apoyo.

A mi hija q ha sido la mayor bendición q me ha dado la vida y mi inspiración.

A mi familia y amigos en general por estar pendiente de cada uno de los momentos fundamentales en estos seis años de la carrera.

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a Dios por siempre guiarme.

A mis padres y mi familia en general por ser ese motor impulsor que cada día me da fuerzas para superarme.

A mis amigos y compañeros de aula que hicieron de estos años de estudio, una etapa de la cual guardaré para siempre lindos recuerdos.

A mis tutor Kelvin E. Martínez Santos y compañeros de trabajo del Frigorífico Cienfuegos por colaborar en las etapas de investigación y realización de este proyecto.

A mis profesores de estos seis años de carrera que me brindaron sus conocimientos y aportaron su granito de arena para hoy lograr esta meta.

RESUMEN.

El presente trabajo se realizó en la Filial Frigorífico Cienfuegos con el objetivo de establecer las bases para la implementación de un Sistema de Gestión de la Energía a partir de la metodología de la etapa de planificación energética de la NC-ISO 50001:2019. La investigación consistió en realizar un diagnóstico energético que permitió conocer el portador energético de mayor consumo mediante el empleo de herramientas estadísticas. Se determinaron las Líneas Base Energética Real y Meta de la Empresa y los Indicadores de Desempeño Energético. Además se identificaron oportunidades de ahorro en mejoras dirigidas al cambio de tecnología y a dicha propuesta se le realizó un estudio de factibilidad. El trabajo garantiza una mejor organización y control del consumo eléctrico y contribuye a la mejora del desempeño energético de la entidad.

Palabras Claves: Frigorífico, Sistema de Gestión de la Energía, Indicadores de Desempeño Energético.

The present work was carried out at the Cienfuegos Refrigerator Subsidiary with the objective of establishing the bases for the implementation of an Energy Management System based on the methodology of the energy planning stage of the NC-ISO 50001: 2019. The investigation consisted of carrying out an energy diagnosis that allowed to know the energy carrier with the highest consumption through the use of statistical tools. The Real and Goal Energy Base Lines of the Company and the Energy Performance Indicators were determined. In addition, savings opportunities were identified in improvements aimed at changing technology and a feasibility study was carried out for said proposal. The work guarantees a better organization and control of electricity consumption and contributes to the improvement of the entity's energy performance.

Keywords: Refrigerator, Energy Management System, Energy Performance Indicators.

INDICE.

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1: ESTUDIO DEL ARTE.....	4
1.1. Características de los sistemas frigoríficos.	4
1.1.1. Cámaras frigoríficas.....	4
1.1.2. El amoníaco como refrigerante.....	5
1.2. Eficiencia energética.	6
1.2.1. Indicadores de eficiencia energética.....	7
1.2.2. Indicadores de Desempeño Energético en la industria del almacenaje (cámaras frigoríficas).....	8
1.3. Antecedentes de la gestión energética en la actividad de almacenes frigoríficos en el mundo.	11
1.4. La gestión energética en la actividad de almacenes frigoríficos en Cuba. ..	12
Conclusiones parciales del Capítulo I.....	16
CAPÍTULO 2: CARACTERIZACIÓN DE LA FILIAL FRIGORÍFICO CIENFUEGOS.....	17
2.1. Caracterización de la Unidad Empresarial.	17
2.1.1. Objeto Social.....	18
2.1.2. Misión.....	18
2.1.3. Visión.....	19
2.1.4. Organigrama de la empresa.....	19
2.1.5. Fuerza de trabajo.....	20
2.2. Descripción del proceso de refrigeración en la Filial Frigorífico Cienfuegos.	20
2.2.1. Áreas de la empresa y principales equipos.....	22
2.3. Etapa de Planificación Energética.	24
2.4. Portadores energéticos de la empresa.	24
2.5. Análisis del consumo de los principales portadores energéticos para la empresa.	25
2.6. Consideraciones sobre el portador electricidad.	27
2.7. Análisis y control de los consumos del portador electricidad en los años 2018 y 2019.	30
2.7.1. Determinación de los usos significativos de la energía.....	30

2.7.2. Gráfico Consumo Eléctrico VS Toneladas Almacenadas.	33
2.7.3. Líneas bases energéticas.	35
2.7.4. Líneas de metas energéticas.	39
2.8. Producción Crítica.	40
2.9. Indicadores de desempeño energéticos.	40
2.9.1. Indicador de Desempeño Energético.	41
2.9.2. Índice de BASE 100.	42
2.9.3. Indicador CUSUM.	43
<i>Conclusiones parciales del Capítulo II.</i>	44
CAPITULO 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.	46
3.1. Identificación de las oportunidades de mejoras.	46
3.2. Propuesta de sustitución de los compresores recíprocos por compresores de tornillo.	48
3.3. Evaluación económica de la sustitución de los compresores.	52
CONCLUSIONES.	55
RECOMENDACIONES.	56
BIBLIOGRAFÍA.	57
ANEXOS.	I

INTRODUCCIÓN.

El consumo de energía depende, en términos agregados, de dos elementos fundamentales: por una parte, del crecimiento económico y, por otra, de la eficiencia energética. La mejora de la intensidad de consumo energético a escala mundial en 2021 se sitúa por debajo de la media de 2000-2019 (reducción del 1 % frente al 1,5 % anual registrado durante dicho periodo). La cuota de la electricidad en el consumo final ha evolucionado rápidamente desde 2010 ya que cada vez se utiliza una cuota mayor de electricidad en los sectores industrial, residencial, y servicios y más recientemente en el sector del transporte como resultado del desarrollo de los vehículos eléctricos (*Enerdata, 2022*).

Actualmente la energía eléctrica es generada en su gran mayoría, por fuentes que consumen combustibles fósiles y/o energía nuclear, con los consecuentes riesgos y daños al Medio Ambiente que esto representa (Petróleo: 32,89 %, Carbón: 29,16 %, Gas natural: 23,40 %, Hidroeléctrica: 6,78 %). Esto sumado al aumento en los precios internacionales del petróleo, su inevitable agotamiento, la demanda de grandes cantidades de energía y el envejecimiento de las redes actuales, han hecho que en los últimos años se dé un importante impulso y desarrollo a la generación de electricidad basada en fuentes renovables de energía que ha permitido incrementar de manera exponencial su aporte a nivel mundial.

Cuba tiene diversas fuentes renovables de energía que pueden ser utilizadas para satisfacer parte de la energía demandada por el país, la introducción de estas fuentes y los cambios de tecnologías no dejan de ser una respuesta acertada en temas de ahorro de portadores energéticos, para Cuba esas metas se desploman cuando aparecen las prohibiciones del bloqueo económico y la falta de financiamiento.

En este sentido la meta es que las empresas altas consumidoras logren la implementación del Sistema de Gestión de la Energía (SGE) para disminuir el consumo de energía innecesaria, contribuir al aumento de la productividad, elevar el nivel de seguridad operacional y usar la energía generando la menor

contaminación ambiental (**Savalza Vaca, 2018**). La gestión energética se concibe como un esfuerzo organizado y estructurado para conseguir la máxima eficiencia en el suministro, conversión y utilización de portadores energéticos, mediante un conjunto de acciones técnico-organizativas para administrarlos eficientemente, que aplicadas de forma continua permiten establecer nuevos hábitos de dirección, control y evaluación de su uso (**Cañizares, Cuevas Hernández, Pérez Bermúdez, & González-Suárez, 2015**).

La gestión energética empresarial es uno de los principales problemas que afectan la eficiencia energética y el ahorro en Cuba pues esta no ha logrado ser implantada y aplicada en la gran mayoría de las empresas cubanas. En tal sentido, el insuficiente análisis de los índices de eficiencia energética, el desconocimiento de la incidencia de cada portador energético en el consumo total, la falta de identificación de índices físicos y su ordenamiento por prioridad, la falta de identificación de los trabajadores que más inciden en el ahorro y la eficiencia energética, la insuficiente divulgación de las mejores experiencias, las insuficiencias en los sistemas de información estadística y la falta de apreciación de la eficiencia energética como una fuente de energía importante son algunos de las causas que dificultan desarrollar un Sistema de Gestión de la Energía (SGE) en las empresas cubanas (**Lápidó Rodríguez, 2012**).

Por tanto, surge la necesidad de implantar un SGE en la Filial Frigorífico Cienfuegos que por sus características, es un alto consumidor dentro de las empresas de la provincia (**Acosta Cuenca, 2011**), lo que traerá como beneficios mejorar su desempeño energético en aras de garantizar la calidad de los productos y servicios; reducir costos de producción y elevar su competitividad.

Problema científico:

La Filial Frigorífico Cienfuegos presenta elevados consumos energéticos y no cuenta con un Sistema de Gestión para el uso racional y eficiente de la energía.

Hipótesis de investigación:

Con la utilización de la metodología normada para la etapa de planificación energética de la NC-ISO 50 001:2019, podrán establecerse las bases que facilitarán la implementación de un Sistema de Gestión de la Energía (SGE) y así disminuir los consumos energéticos en la Filial Frigorífico Cienfuegos.

Objetivo general.

Establecer las bases para la implementación de un SGE en la Filial Frigorífico Cienfuegos a partir de la metodología de la etapa de planificación energética de la NC-ISO 50 001:2019.

Objetivos específicos:

1. Efectuar revisión bibliográfica sobre estado de los indicadores y SGE en frigoríficos en Cuba y el mundo.
2. Realizar la caracterización energética en la Filial Frigorífico Cienfuegos: portadores, datos históricos, usos significativos de la energía, etc.
3. Determinación de los índices de desempeño energético y las líneas energéticas base y metas.
4. Identificación de oportunidades de ahorro.

CAPÍTULO 1: ESTUDIO DEL ARTE.

Introducción al capítulo.

En este capítulo se realiza una profunda búsqueda y revisión bibliográfica sobre el consumo de la energía en Almacenes Frigoríficos o Cámaras de Almacenamiento Frigoríficas tanto a nivel mundial como nacional. Para ello es necesario entender el proceso de refrigeración que tiene lugar en los frigoríficos así como los equipos que permiten la ejecución del mismo. Además, se define en qué consiste un Sistema de Gestión Energética (SGE) y las ventajas que trae consigo su implementación en este tipo de almacenes para el ahorro de la energía en el sector industrial, cumpliendo con lo estipulado en la NC-50001:2019.

1.1. Características de los sistemas frigoríficos.

Un circuito de refrigeración corresponde a un arreglo mecánico basado en los principios de la termodinámica y mecánica de fluidos diseñado para transferir energía térmica entre dos focos, desplazando la energía térmica contenida en uno de sus focos a fin de obtener una menor temperatura en este. Estos focos suelen ser sistemas termodinámicamente cerrados.

El término de circuito de refrigeración se suele reemplazar por el sistema frigorífico o sistema de refrigeración en aplicaciones de refrigeración industrial, debido a la complejidad de estos sistemas y principalmente a que están constituidos por dos o más intercambiadores de calor en los cuales el refrigerante sufre un cambio de estado en el cual el intercambio de calor latente es el que genera el fenómeno de refrigeración, así como al complejo sistema de control automático asociado (**Cengel & Boles, 1994**).

1.1.1. Cámaras frigoríficas.

Una cámara frigorífica es un recinto donde se almacenan productos perecederos con el fin de mantenerlos mediante bajas temperaturas sin que se deterioren. Aunque pueden tener otros usos como: climatizar un habitáculo, secado de aire y fabricación de hielo. En función de las prestaciones deseadas, las cámaras pueden clasificarse en tres grupos:

- Cámaras para almacenamiento de productos refrigerados, con temperaturas de 0 a 4 °C, para almacenarlos cortos períodos de tiempo.
- Cámaras de congelación y almacenamiento de productos congelados de 18 a -30 °C, para largos períodos de almacenamiento.
- Cámaras de atmósfera controlada, son cámaras estancadas, donde además de temperatura se controlan los gases de ambiente, incluso añadiendo aditivos como etileno (eteno) con nitrógeno. En estas cámaras la temperatura puede ser superior a la de conservación si se utiliza para someter los productos a un proceso de maduración acelerada o maduración artificial.

Según la NC 15-48/86 las cámaras frigoríficas se clasifican de acuerdo a las características técnicas constructivas y su volumen en:

- Cámaras frigoríficas pequeñas con un volumen de 8 a 100 m³.
- Cámaras frigoríficas medianas con un volumen de 246 a 1 901 m³.
- Cámaras frigoríficas grandes con un volumen de 2 033 a 9 228 m³.

1.1.2. El amoníaco como refrigerante.

El amoníaco compuesto por 1 átomo de nitrógeno y 3 de hidrógeno se utiliza en la industria mayormente como refrigerante para sistemas de congelación. A temperatura ambiente no se encuentra en estado líquido. Tiene alta eficiencia evaporativa lo que lo hace idóneo como refrigerante. Es considerablemente difícil de arder ya que está demostrado en experiencias pasadas y bajo condiciones normales, es un compuesto estable, pero bajo condiciones extremas puede producir combinaciones explosivas con el aire y el oxígeno (**Arboleda Arias, 2019**). En la Tabla 1.1 se muestran otras características del amoníaco.

Tabla 1.1. Características del Amoniaco.

Fórmula química	NH ₃
Denominación Internacional	R-717
Punto de ebullición	-33,4 °C
Punto de solidificación	-77,9 °C
Peligro de explosión	Explosiona cuando hay una cantidad del 13 % al 16 % en presencia del aire y hay chispas o llamas presentes.
Apariencia visual	Incoloro
Nivel tóxico	Muy peligroso

Fuente. (Arboleda Arias, 2019).

Es producido por medio de un proceso biológico, se descompone naturalmente y no es causante del efecto invernadero. Se ha incrementado su empleo en aplicaciones que no se usaban debido a su bajo costo y alta eficiencia. Es más ligero que el aire debido a que su densidad es solamente el 60 % de la del aire, por eso, la concentración es mayor cerca del techo. Si es posible, el vapor de amoníaco se elevará y se escapará a la atmósfera, donde se dispersa rápidamente. El olor del amoníaco tiene un alto efecto de alarma. Su principal propiedad negativa es su toxicidad y su moderado nivel de flamabilidad **(González Jiménez, 2012)**.

1.2. Eficiencia energética.

La eficiencia energética se define como el volumen de energía consumida por unidad de energía producida y permite utilizar menos energía para alcanzar una misma producción, identificar los desperdicios de energía y tomar las acciones necesarias para eliminarlos sin perjudicar la calidad. Es la relación entre producción y consumo energético y su aumento se puede alcanzar manteniendo un mismo nivel de producción **(Salazar Aragón, 2012)**.

Las medidas necesarias para lograr la eficiencia energética requieren inversión que pueden ser grandes inversiones de capital para la adquisición de nueva tecnología o poca inversión como las mejoras en el proceso productivo, mantenimiento de los

equipos e inclusive capacitación del personal para concientizarlo de la necesidad de hacer un uso racional de la energía.

Actualmente los temas del ahorro energético y eficiencia energética se han convertido en una prioridad en las agendas de los gobiernos de todo el mundo debido a que las fuentes energéticas tradicionales tienen un carácter limitado, son cada vez más caras, generan una dependencia del mercado exterior y además tienen un impacto relevante sobre el medio ambiente. Por ello, se trabaja de manera ardua en leyes y procesos que impliquen el uso moderado y eficiente de la energía siendo la refrigeración uno de los principales sectores donde se genera gran consumo de energía. Los fabricantes, instaladores y técnicos de mantenimiento deben elegir métodos que impliquen ahorro pero también eficiencia en cualquier equipo para mantener un crecimiento saludable en las empresas a través de instalaciones más eficientes **(Carretero & García, 2012)**.

Desde hace una década, diversas organizaciones de normalización vienen trabajando para desarrollar documentos que orienten a las organizaciones sobre cómo gestionar eficazmente la energía. El 15 de junio de 2011 la Organización Internacional de Normalización (ISO) publicó la esperada ISO 50001, un documento que ayudará a las organizaciones que lo implanten a obtener mejoras significativas en su eficiencia energética, con el consiguiente impacto positivo en su cuenta de resultados **(Carretero & García, 2012)**.

1.2.1. Indicadores de eficiencia energética.

Los Indicadores Energéticos son la herramienta utilizada para determinar las áreas prioritarias en las cuales se deben aplicar las mejoras de ahorro y eficiencia energética. El valor numérico de los indicadores energéticos genera información que ayudará a los responsables de la toma de decisiones a establecer objetivos de eficiencia energética y al seguimiento de los avances para alcanzar dichos objetivos.

Seleccionar y desarrollar indicadores es el primer paso para analizar la situación energética de un sector particular y poder obtener conclusiones iniciales referidas a interpretar su tendencia pasada e influir en su evolución futura. Cada indicador tiene

su propio propósito, y también sus limitaciones respecto a qué puede llegar a explicar. Dar una imagen precisa requiere de varios indicadores, que al ser analizados en conjunto proporcionarán una base más robusta para la formulación de políticas según la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico y la Asociación Internacional de Energía **(OCDE/AIE, 2015)**.

Para interpretar cabalmente los alcances de las medidas de eficiencia energética es necesario separar el impacto de los cambios en cada instalación/equipos que influyen en la demanda de energía. El desarrollo de indicadores energéticos debe proporcionar información para comprender la situación actual y permitir evaluar el potencial de ahorro energético **(Arocas, Coria Hoffmann, & Bosc, 2019)**.

Los indicadores de eficiencia energética se construyen con el objeto de dar seguimiento a los cambios en la eficiencia con que los países o áreas de la economía usan la energía. Dos tipos de indicadores se utilizan para describir este proceso: los índices económicos y los índices tecno-económicos.

Los índices económicos se utilizan cuando la eficiencia energética se evalúa a niveles agregados, por ejemplo, al nivel del país o de un sector de la economía, ya que en este caso no es posible caracterizar la actividad con índices técnicos o físicos. La Intensidad Energética (IE) es conocida internacionalmente como uno de estos índices económicos y se define como la relación entre el consumo de energía e indicadores de la actividad económica.

Los índices tecno-económicos se utilizan cuando los análisis se realizan a niveles suficientemente desagregados (por sub-ramas o usos finales) y relacionan la energía consumida con indicadores de la actividad.

1.2.2. *Indicadores de Desempeño Energético en la industria del almacenaje (cámaras frigoríficas).*

Los indicadores de desempeño energético (IDEn), son las expresiones y valores usados para monitorear, controlar y/o supervisar cambios en el rendimiento de la energía, y reducir pérdidas energéticas en cualquier proceso productivo lo que

permite, a cualquier organización a través de gestión, establecer planes estratégicos para alcanzar metas a corto, mediano y largo plazo, así como obtener y mantener altos niveles de eficiencia energética (**Castrillón, Quispe, González, Urhan, & Fandiño, 2014**) ; pueden expresarse como una simple medida, un cociente o un modelo más complejo (**Carretero & García, 2012**).

Dado que el desempeño energético se relaciona con la manera en que la energía es empleada, la cantidad de energía que es consumida, y la eficiencia con la que la energía se usa para lograr un resultado deseado, es importante notar que rara vez este puede ser representado con un solo valor o medida.

Los indicadores de desempeño energético deben contar con las siguientes características:

- Estar basado en información confiable.
- Ser transparente y verificable.
- Estar basado en información específica con relación al proceso/sistema y el tiempo.
- Poder medir cambios en una condición o situación a través del tiempo.
- Facilitar observar de cerca los resultados de iniciativas o acciones.
- Ser instrumentos valiosos para determinar cómo se pueden alcanzar mejores resultados en proyectos de desarrollo.

El manual de SGE establece que los IDEn son una cuantificación del consumo de energía en función de costos, salidas de productos, bienes o servicios correspondientes a un periodo representativo (**Campos, 2017**). Dentro de los indicadores de desempeño energético habituales se destacan:

- Industria y energía.
 - Consumo de cada tipo de energía (eléctrica, térmica, renovable, etc.) por tonelada o longitud de producto final, subproductos o intermedios.
 - Consumo de energía por cada fase del proceso, instalación o equipo.

- Consumo de cada tipo de energía en extracción de mineral, refino de petróleo o extracción de gas por TEP, por barril producido o por energía eléctrica generada.
- Sector terciario residencial.
- Consumo de energía (eléctrica, térmica, renovable, etc.) por metro cuadrado, por vivienda, por habitantes, por instalación térmica o eléctrica del edificio (calefacción, aires acondicionados, iluminación.etc.), por equipo, por humedad relativa, temperatura media, máxima o mínima.
- Sector comercial y de servicios.
- Consumo de energía (eléctrica, térmica, renovable, etc.) por instalación térmica o eléctrica del edificio, número de empleados, superficie o visitantes.
- Sector transporte.
- Consumo de energía (gasolina, gasóleo, gas natural, electricidad) por modo de transporte, número de pasajeros, tonelada transportada, distancia recorrida y/o tipo de vehículo (automóviles ligeros, de carga, motocicleta, autobús).

Los indicadores de desempeño coinciden con los indicadores de los procesos energéticos de la organización y que algunos ejemplos de este tipo de indicadores los siguientes:

- Energía eléctrica consumida/unidad producida.
- Energía térmica consumida/horas trabajadas.
- Energía producida/energía primaria consumida.
- Energía consumida/kilómetros recorrido.
- Energía consumida/tonelada transportada.
- Energía consumida/unidad de longitud de producto.
- Energía consumida/peso de producto.

1.3. Antecedentes de la gestión energética en la actividad de almacenes frigoríficos en el mundo.

Desde hace más de cincuenta años el desarrollo de la industria alimentaria cobró gran auge debido al desarrollo de la refrigeración y ha alcanzado niveles tales que más del 45% de la producción mundial de alimentos se perdería si no fuera por la conservación y distribución en frío. Es indispensable, por tanto, contar con equipos confiables, de bajo consumo energético y prolongada vida útil (**González de la Cruz & González, 2006**).

Los sistemas de refrigeración empleados que se encuentran operando con temperaturas que van desde los 5 °C hasta los 25 °C, tienen la responsabilidad de almacenar los alimentos para el correcto consumo de las personas con base en su tiempo de vida y caducidad de estos. Más del 98 % de estas instalaciones utiliza la energía eléctrica como una fuente que asegure los procesos de enfriamiento, lo que equivale a más del 20 % del total de la energía utilizada para el sector alimentario.

El empleo de prácticas eficientes y responsables en las actividades de refrigeración se ha convertido en una obligación vinculada con el ahorro de energía y, en consecuencia, con el tema del medioambiente y la reducción en los costos de mantenimiento.

La eficiencia energética es un alto valor añadido para cualquier cámara frigorífica, si bien la mejora del funcionamiento de dichas instalaciones ha sido durante mucho tiempo algo de baja prioridad, esto ha ido ganando importancia con los años ya que son inversiones a largo plazo (**González de la Cruz & González, 2006**).

El consumo de electricidad en los sistemas de refrigeración y la eficiencia en su empleo depende de diversos factores, unos propios del proceso y otros vinculados con la forma de operación del sistema y la elección técnica del equipamiento.

Son diversos los trabajos de diploma que ponen su interés en contribuir con la implementación del SGE en las instalaciones frigoríficas, un ejemplo de ello lo constituye el Trabajo de Grado de Juan Luis Sabalza Vaca titulado “Elaboración del plan de Gestión Energética para el Frigorífico Río Frío S.A.S.” en 2018, el cual es

una tesis colombiana que tuvo el objetivo de conseguir una mejora de desempeño energético en la empresa antes mencionada, haciendo énfasis en el Ciclo Deming o Ciclo PHVA (Planear, Hacer, Verificar, Actuar). Como resultados de esa investigación se elaboró el Manual del SGE, donde se demuestra las etapas desarrolladas en el proceso de planificación energética y la estructura que le da connotación de implementación al sistema de gestión de la energía, obteniendo las generalidades de la misma como 26 planes de acción competentes verificables con la línea base energética y costo de energía.

También el autor Jaime Andrés Serrano Parra en su trabajo de diploma: "Desarrollo de la etapa de planificación de un Sistema de Gestión Energética en base a la norma ISO-50001: 2011 en el Centro Logístico de Frío (Celfrío SAS)" en 2019, realiza la propuesta de implementación de un SGE en dicha empresa. Como resultado se identificó una oportunidad de mejora sustancial debida a la reducción de la carga térmica en el proceso de conservación traducida en un ahorro de energía eléctrica del 3,26% del consumo de energía total.

Estos ejemplos muestran que la implementación de los SGE en frigoríficos permite identificar y estimar las oportunidades de mejora energética y proponer objetivos y metas energéticas tomando en consideración los resultados obtenidos en la revisión energética.

1.4. *La gestión energética en la actividad de almacenes frigoríficos en Cuba.*

Es importante abordar el tema de la gestión energética en Cuba ya que en el país, más que en cualquier otro, es ineludible mejorar el control de los recursos energéticos, así como hacer un uso mucho más racional y eficiente de los mismos, lo que representa un mejoramiento continuo de la eficiencia y de la competitividad en las empresas.

Desde el punto de vista energético los frigoríficos industriales están catalogados como grandes consumidores de energía, fundamentalmente eléctrica. En el contexto cubano estos representan una parte importante de la demanda

eléctrica del sector industrial y son objeto de análisis en los estudios de políticas energéticas.

La Empresa Nacional de Frigoríficos (ENFRIGO), constituye uno de los mayores consumidores de energía del país, siendo su objeto social de primera prioridad por su impacto en la alimentación a la población.

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

En 1960 existían 8 frigoríficos que se utilizaban para guardar producciones agrícolas con asesoramiento de la antigua República de Bulgaria y construcción civil cubana (parte del equipamiento de origen Rumano y Búlgaro). En 1970 se incrementaron a 16, dado el incremento de las producciones agrícolas, así como el apoyo de alimentos que brindaba el campo socialista. En la década del 80, por el envejecimiento de los 16 frigoríficos, el país decide efectuar un fuerte proceso inversionista conjuntamente con la República Búlgara y el apoyo del Consejo de Ayuda Mutua Económica (CAME), construyéndose 14 nuevos frigoríficos en el periodo de tres quinquenios (80-85; 85-90 y 90-95). La década del 90 se considera la mejor etapa de instalaciones frigoríficas, por la existencia de un sobrante de recursos del proceso inversionista de la anterior década y en segundo lugar por la asignación de recursos anuales para la compra en Moneda Librementemente Convertible (MLC) de recursos que Bulgaria suministraba (**Acosta Cuenca, 2011**).

A partir del año 2000 se presentó un deterioro de la infraestructura tecnológica de las instalaciones de la empresa, produciéndose condiciones inseguras en la explotación de los 30 frigoríficos que la componen.

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

En el 2003 se decide realizar acciones encaminadas a mitigar o eliminar el creciente deterioro de las instalaciones frigoríficas de la empresa, cuya composición contaba

con 29 grandes frigoríficos que jugaron un gran papel en el abastecimiento de la población.

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

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

Aunque se han ejecutado acciones encaminadas a la mejora de la eficiencia energética en la empresa, éstas no han tenido los resultados esperados y aún son insuficientes. No se ha logrado utilizar las herramientas para la gestión energética, que fundamentadas teóricamente, tengan la pertinencia empírica necesaria y contribuyan a su mejoramiento.

Diversos estudios muestran que el desarrollo de una economía mundial con mayor eficiencia energética es un primer paso en el camino hacia el desarrollo sostenible. En el contexto de la industria frigorífica se ha identificado que existen importantes reservas para el incremento de la eficiencia energética a partir de la mejora de los parámetros de funcionamiento de los ciclos de refrigeración por compresión de vapor utilizados y la implementación de sistemas de gestión energética.

En 2008 fue realizado un estudio energético en la Filial Frigorífico Cienfuegos que permitió identificar potenciales de ahorro en medidas como seccionar las cámaras de almacenamiento y sustitución de los compresores existentes. Además se propuso la conformación de un sistema de indicadores económicos y energéticos que contribuyen a la caracterización y evaluación del proceso de refrigeración desarrollado en la entidad (***Dovendra Puran, 2008***).

En 2011, el trabajo de diploma “Mejoramiento de la eficiencia energética en los frigoríficos de ENFRIGO” del autor Lic. Hugo Ariel Acosta Cuenca a través de un diagnóstico de la eficiencia energética en dicha empresa detectó un grupo de deficiencias en la gestión de la energía de los diferentes frigoríficos de la empresa, entre ellas se destacan:

- No se ha realizado el acomodo de carga en algunas unidades frigoríficas.
- No existen diagramas o circuitos mono lineales.
- Bajo factor de potencias.
- El personal para la operación de los grupos electrógenos y la operación en general no está debidamente preparado.
- Pobre funcionamiento de las comisiones de ahorro energético.
- Deterioro de las redes eléctricas (conductor, aislador).
- No existe la estructura para la gestión energética en los frigoríficos del país.
- Deficiencias con la instrumentación para la medición de los portadores energéticos.
- No están totalmente definidas las estructuras de los portadores energéticos.
- Deficiencias en la planificación de la operación de las cámaras frías.
- Deficiencias en el mantenimiento de los condensadores.
- Mal estado técnico de las protecciones eléctricas (breaker, interruptores, etc.)
- No existen el plan de regulación de la demanda máxima
- No existen el plan de regulación de la demanda máxima.

Además resalta como el estado de obsolescencia de la tecnología y el deterioro manifiesto en la infraestructura de los frigoríficos, así como la deficiente preparación del personal para explotarlos y mantenerlos constituyen las principales brechas para mejorar la eficiencia energética en la empresa Enfrigo, pues al poner en práctica el

plan de mejoras dirigido a corregir estos aspectos, se logró un ahorro en el 2009 de 1204,8 MWh con respecto al 2008 que significó 144 576,00 CUC menos y hubo mejor aprovechamiento de la energía con 0.0089 MWh menos por metro cúbico equivalente ocupado.

De lo anterior se deduce la importancia que tiene la Implementación del Sistema de Gestión de la Energía en las instalaciones frigoríficas del país en aras de lograr ahorros en estas empresas.

Conclusiones parciales del Capítulo I.

1. El desarrollo de la industria frigorífica mundial y la situación actual de Cuba, requieren que se estudien todos los factores que de una forma u otra contribuyan a obtener una mayor eficiencia energética.
2. En la refrigeración industrial predomina la utilización de ciclos por compresión de vapor con amoníaco como refrigerante dadas sus excelentes cualidades termodinámicas y medioambientales.
3. Desde el punto de vista energético los frigoríficos industriales están catalogados como grandes consumidores de energía, fundamentalmente eléctrica. En el contexto cubano estos representan una parte importante de la demanda eléctrica del sector industrial y son objeto de análisis en los estudios de políticas energéticas.

CAPÍTULO 2: CARACTERIZACIÓN DE LA FILIAL FRIGORÍFICO CIENFUEGOS.

Introducción al capítulo.

En este capítulo se caracteriza la Filial Frigorífico Cienfuegos a la vez que se aplica las herramientas de la etapa de planificación energética necesarios para implementar un Sistema de Gestión de la Energía en correspondencia con la Norma NC-ISO 50001:2019. Mediante la recopilación de datos de la empresa y el uso de herramientas estadísticas se realiza un análisis del consumo de los principales portadores energéticos de la entidad en el período de 2018-2019 permitiendo conocer el de mayor incidencia para su control y uso racional.

2.1. Caracterización de la Unidad Empresarial.

La Filial Frigorífico Cienfuegos cuenta con una buena política en materia ambiental y es una entidad altamente consumidora de energía eléctrica.

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 8 cámaras de refrigeración para el almacenamiento de papa. El medio refrigerante siempre ha sido el amoníaco, con una tecnología europea de la década del 70.

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 perteneciente al MINAGRI y constituida por catorce empresas, concretándose dicho acuerdo el 16 de febrero de 1994, fecha reconocida como la de creación de estas organizaciones. En marzo del año 1999 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. En octubre del año 2022 la entidad se afilia a la Empresa Frutas Selectas S.A.

Esta instalación se ubica en la Zona Industrial No. 2 en la carretera de O'Bourke perteneciente al Consejo Popular Pueblo Griffó – Pastorita – O'Bourke en la zona costera del lóbulo norte de la Bahía de Cienfuegos. Limita al sur con el muelle de la

Empresa de Servicios Portuarios del Centro (ESPC) del MITRANS, al norte con áreas de almacenamiento a cielo abierto de la ESPC, al 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.

En la Figura 2.1 se observa la ubicación geográfica de la entidad.



Figura 2.1.Ubicación geográfica de la Filial Frigorífico Cienfuegos. **Fuente. (Dovendra Puran, 2008).**

Tiene una superficie de 29 638,08 m², de ella ocupada (construida) 15 292,55 m², su estructura es de paredes de hormigón prefabricado, pisos de hormigón y de techo de placa de hormigón, lo que ocupa un área como objeto de obra de 12 558 m².

Desde su creación ha tenido como función principal la de brindar servicios de frigorífico a cítricos, papas y otras frutas y vegetales, para la exportación y para la comercialización en el país de estos productos agropecuarios.

2.1.1. 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 y otros productos para el consumo de la población.

2.1.2. Misión.

- Comercializar de forma mayorista en moneda nacional las producciones de las entidades que integran el GEF.
- Prestar servicios de almacenamiento en MN.

- Prestar servicios de refrigeración en MN.
- Comercializar de forma minorista artículos industriales y víveres a los trabajadores de la Empresa.
- Prestar servicios en MN, de comedor, cafetería, reparaciones menores de equipos, construcción y reparación de viviendas.

2.1.3. *Visión.*

La exportación de productos industriales, frutas y productos no tradicionales constituye la base fundamental de los ingresos de la Empresa.

La capacitación del personal que interviene en todo el sistema comercial, deberá responder al cumplimiento de la Misión de nuestra Empresa.

Se dispone de capacidades de refrigeración para dar respuestas a la exportación de productos al mercado internacional y mercado interno en divisas.

Las tecnologías a los sistemas de refrigeración requieren de una atención diferenciada que garantice su permanente disposición técnica.

2.1.4. *Organigrama de la empresa.*

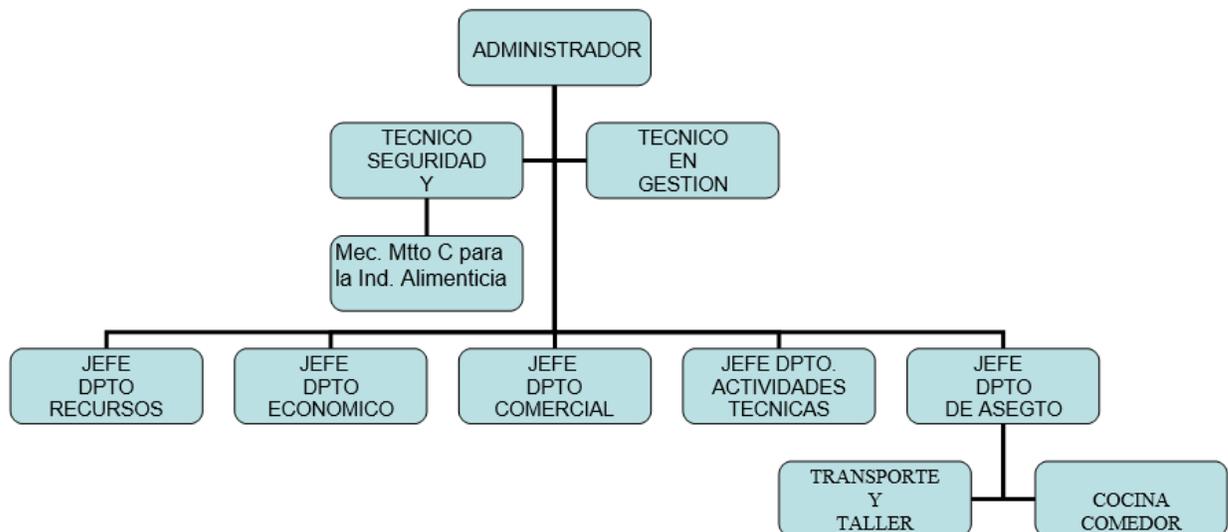


Figura 2.2. Organigrama de la empresa. **Fuente.** Datos recopilados en la empresa.

2.1.5. Fuerza de trabajo.

En la Tabla 2 se muestra la composición de la fuerza de trabajo que integra la empresa Filial Frigorífico Cienfuegos.

Tabla 2.1. Composición de la Fuerza calificada.

Cargos	Plazas aprobadas	Plazas cubiertas
Cuadros	1	1
Técnicos	21	18
Servicios	8	7
Operarios	20	18
Total	50	44

Fuente. Elaboración propia a partir de datos recopilados en la empresa.

2.2. Descripción del proceso de refrigeración en la Filial Frigorífico Cienfuegos.

En la sala de máquinas se encuentran ubicados la mayoría de los equipos que intervienen en el proceso, los dos recibidores lineales de líquido condensado de 3,5 m³ c/u, acumulan el refrigerante procedente de los condensadores y los distribuye según la demanda de nivel de líquido en los recirculadores a través de una válvula de expansión operada manualmente, o directamente a las cámaras por un mecanismo de emergencia. Los recirculadores de 7m³ c/u de capacidad almacenan el refrigerante que será trasegado mediante ocho bombas de amoniaco hasta los difusores en cámaras, de estas bombas seis son de trabajo normal y dos de repuesto o reserva. Una vez que el refrigerante pasa por los difusores y hace el trabajo de extracción de calor, regresa en forma de gas por una línea de retorno a los recirculadores. Los compresores AU 400 (USSR) y AU 200 (USSR) que se encuentran acoplados a un electromotor cada uno, succionan el amoniaco a baja presión (1,9 kgf/cm² - 2,3 kgf/cm²) y lo expanden a altas presiones y temperaturas desde los recirculadores hasta el separador de aceite. El separador de aceite situado en la línea de descarga es general para todo el sistema de tuberías compresor-condensador. Ya filtrado los gases, pasan al condensador, del cual sale

el amoniaco en fase líquida y presión constante en el rango de 10 kgf/cm² - 12 kgf/cm² hasta los recibidores lineales.

También en la Sala de Máquinas se encuentra un Tanque de Lubricación o de Restitución de Aceite el cual de forma semiautomática completa el aceite de los compresores. Contigua a la Sala de Máquinas se encuentra el Cuarto de Pizarra en el área exterior, anexo a la Sala de Máquinas están instalados los condensadores; torres de enfriamiento y las bombas de agua del sistema de condensación, así como del sistema de enfriamiento de los compresores.

Hay dos 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 2 pares de bombas. Hay instaladas 3 pares de bombas a fin de dejar en reserva un par de éstas. Cada torre tenía instaladas en su parte superior, 6 ventiladores dobles duplex de 1 3/4" que impulsaban el aire que entraba por las ventanillas de la torre a fin de crear un movimiento a contra corriente entre el aire que sube y el agua que cae dentro de la torre y producir el fenómeno de enfriamiento. En la actualidad estas torres fueron modificadas por un proyecto cubano y se convirtieron en 2 torres autoventiladas, por lo que se les eliminaron los ventiladores de aire.

En el área exterior de la fachada de sala de máquinas, cuarto de pizarras y baños se encuentran ubicado la estación de carga y descarga de refrigerante por donde se introduce el amoniaco al sistema de refrigeración durante la carga inicial o en las recargas.

El diagrama de flujo del proceso tecnológico q tiene lugar en la Filial Frigorífico Cienfuegos se puede observar en la Figura 2.3.

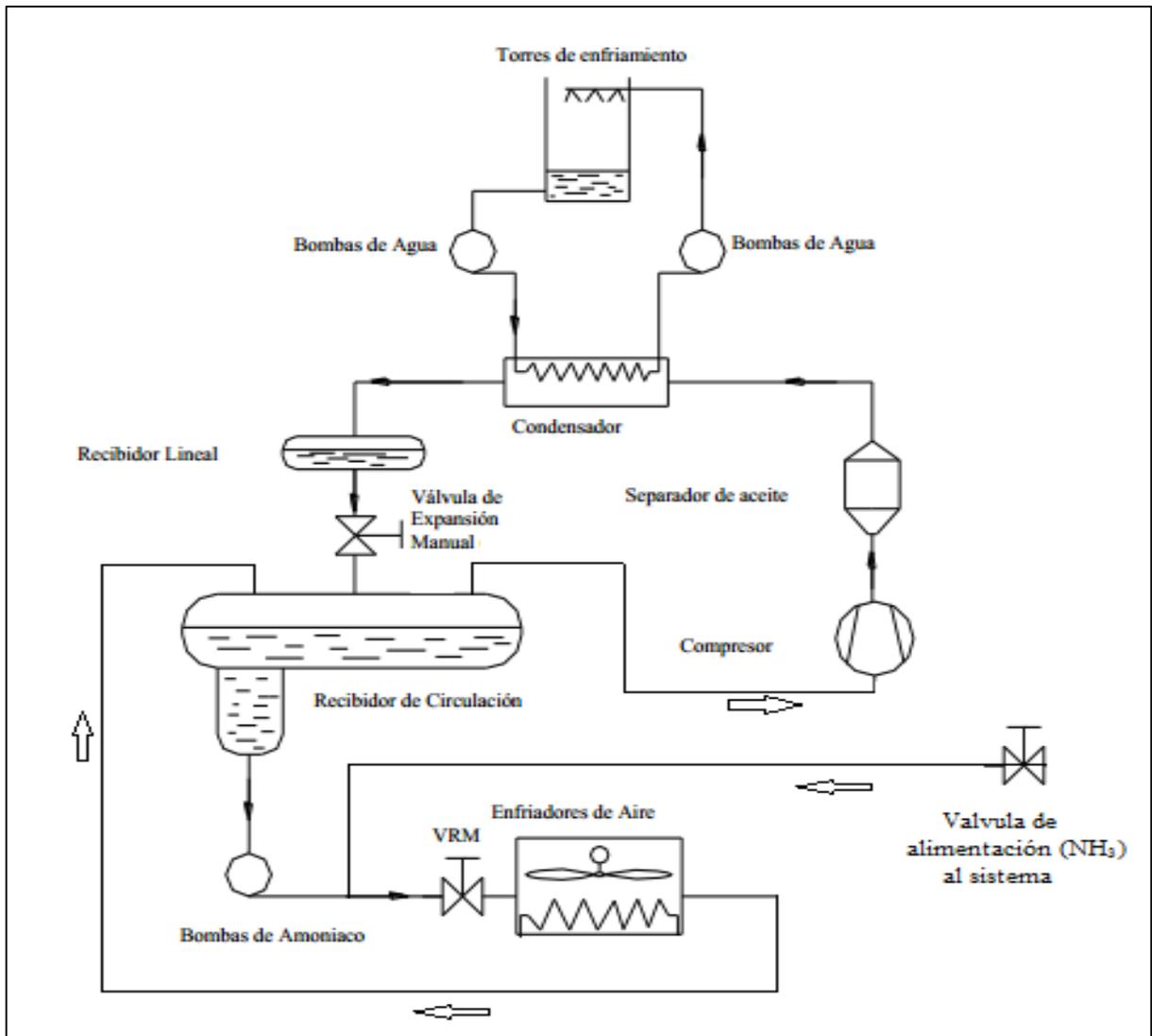


Figura 2.3. Diagrama de flujo del proceso tecnológico. **Fuente.** Elaboración Propia

2.2.1. Áreas de la empresa y principales equipos.

En la Filial Frigorífico Cienfuegos se encuentran definidas las siguientes áreas:

1. Socio-Administrativa y de servicio (cocina y oficinas).
2. Sala de máquinas.
3. Cámaras de almacenamiento.

La distribución de las áreas se pueden observar en el **Anexo 1**.

En las siguientes tablas se muestran los principales equipos consumidores de energía eléctrica por áreas y sus características técnicas.

Tabla 2.2. Área socio-administrativa y de servicio.

Equipos	Marca	Potencia unitaria, kW	Número de equipos en servicio.	Potencia en uso, kW	Horas diarias trabajadas	Consumo diario kWh
Lámparas fluorescentes de 20		0,02	35	0,7	8	5,6
Computadoras e impresoras		0,2-0,3	15	3-4,5	8	36
Refrigeradores		0,2-0,5	3	0,6-1,2	24	3,6
Aire acondicionados de ventana	LG	1,1	8	8,8	4	35,2
Nevera	DH 6.3	5,6	1	5.6	20	112
Nevera	-	0,25	2	0,5	20	10
Luces de andenes y exteriores	Luz LED	0,07	14	0,98	12	11,76
Área Socio-Administrativa y de servicio					Total por área	214,16

Fuente. Elaboración propia a partir de datos recopilados en la empresa.

Tabla 2.3. Sala de máquinas.

Sala de máquinas						
Equipos	Marca	Potencia unitaria, kW	Número de equipos en servicio.	Potencia en uso, kW	Horas diarias trabajadas	Consumo diario, kWh
Bombas de amoníaco	Witt – GP	4.8	5	24	10	240
Bombas de agua sistema t-c y c-t	K 160	20	2	40	10	400
	K 160	18.5	2	37	10	370
Compresor	AUU 400	150	1	150	10	1500
Compresor	AUU 200	85	1	-	-	0
Bomba de tratamiento de agua	ETA 65-26	5,5	1	-	-	0
Bombas del tanque elevado	K 160	18,5	1	18,5	0,5	9,25
Alumbrado de Sala de máquinas y taller	Luz LED	0.07	6	0,42	12	5,4
Cargadores de baterías		7,4	2	11,8	8	94,7
Sala de máquinas					Total por área	2619,35

Fuente. Elaboración propia a partir de datos recopilados en la empresa.

Tabla 2.4. Cámaras de almacenamiento.

Cámaras de almacenamiento						
Equipos	Marca	Potencia unitaria, kW	Número de equipos en servicio.	Potencia en uso, kW	Horas diarias trabajadas	Consumo diario kWh
Difusores de amoníaco cámara #1	EVCV 240	5.5	7	38,5	8	308
Difusores de amoníaco cámara #2	EVCV 240	5.5	7	38,5	8	308
Difusores de amoníaco cámara #3	EVCV 240	5.5	7	38,5	8	308
Difusores de amoníaco cámara #4	EVCV 240	5.5	7	38,5	8	308
Difusores de amoníaco cámara #5	EVCV 240	5.5	4	0	8	0
Difusores de amoníaco cámara #6	EVCV 240	5.5	7	38,5	8	308
Difusores de amoníaco cámara #7	EVCV 240	5.5	6	33	8	264
Difusores de amoníaco cámara #8	EVCV 240	5.5	7	0	8	0
Luces de cámaras	Luz LED	0,07	56	3,92	4	15,68
Cámaras de almacenamiento					Total por área	1819,68

Fuente. Elaboración propia a partir de datos recopilados en la empresa.

2.3. Etapa de Planificación Energética.

La Norma NC-ISO 50001:2019, sistemas de gestión energética, establece los requisitos necesarios que debe tener un sistema de gestión de la energía en una organización para ayudarla a mejorar su desempeño energético. Se enmarca en el ciclo de mejoramiento continuo: Planear, Hacer, Verificar y Actuar. La etapa de planificación se centra en entender el comportamiento energético de la organización para establecer los controles y objetivos necesarios que permitan mejorar el desempeño energético. Para la ejecución de esta etapa inicialmente se da cumplimiento a nivel documental a los requisitos generales de la norma mediante el establecimiento del alcance y límite del SGE, la creación de un equipo de gestión de la energía, la elaboración de una política energética que ratifique el compromiso de la organización con relación a su SGE y posteriormente se desarrolla la revisión energética.

En este capítulo se realiza una revisión energética con el fin de analizar el uso y consumo de la energía en la organización por medio del establecimiento de líneas de base energética, indicadores de desempeño energético y la evaluación de oportunidades de mejora.

2.4. Portadores energéticos de la empresa.

Un portador energético puede definirse como sustancia o fenómeno que puede utilizarse para producir trabajo mecánico, calor o para operar procesos químicos o físicos.

Los principales portadores energéticos en la Filial Frigorífico Cienfuegos son la electricidad, aceites lubricantes, el GLP, grasas lubricantes, diésel y gasolina regular. En la siguiente tabla se muestran los consumos de estos portadores en los años 2018 y 2019, período seleccionado para el análisis energético que permitirá sentar las bases para la implementación del Sistema de Gestión de la Energía en dicha entidad.

Tabla 2.5. Consumo de los portadores energéticos en los años 2018 y 2019.

Portadores Energéticos	Unidad de medida	Consumo año 2018	Consumo año 2019
Electricidad	MWh	1230,632	1206,916
Aceites lubricantes	ML	1160,000	1160,000
GLP	kg	810,000	450,000
Grasas lubricantes	kg	36,000	36,000
Diesel	ML	8,933	6,716
Gasolina regular	ML	1,350	1,602

Fuente. Elaboración propia.

2.5. Análisis del consumo de los principales portadores energéticos para la empresa.

El análisis de los portadores energéticos permite determinar cuál o cuáles de estos son los de mayor incidencia en el consumo dentro de la empresa. La siguiente tabla muestra el consumo de cada portador en los años 2018 y 2019 representados en Toneladas de Combustible Convencional y su por ciento con relación al total.

Tabla 2.6. Consumo de portadores energéticos para el año 2018.

Factores de conversión de Toneladas a Toneladas de Combustible Convencional (TCC)									
Portadores Energéticos(2018)	Unidad de medida	Consumo anual	Factor de conversión a Toneladas(t)	Unidad de medida	Consumo Toneladas (t)	Factor de conversión a TCC	Consumo (TCC)	Por ciento (%)	Por ciento Acumulado (%)
Electricidad	MWh	1230,632	1,00	MWh	1230,6320	0,3437	422,9067	99,5239	99,5239
Aceites lubricantes	ML	1160,000	1119,59	T	1,0361	1,0000	1,0361	0,2438	99,7677
GLP	kg	810,000	1000,00	T	0,8100	1,1631	0,9421	0,2217	99,9894
Grasas lubricantes	kg	36,000	1000,00	T	0,0360	1,0000	0,0360	0,0085	99,9979
Diésel	ML	8,933	1178,55	T	0,0076	1,0534	0,0080	0,0019	99,9997
Gasolina regular	ML	1,350	1367,24	T	0,0010	1,0971	0,0011	0,0003	100,0000
TOTAL							424,93	100	

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 2.7. Consumo de portadores energéticos para el año 2019.

Factores de conversión de Toneladas a Toneladas de Combustible Convencional (TCC)									
Portadores Energéticos(2019)	Unidad de medida	Consumo anual	Factor de conversión a Toneladas(t)	Unidad de medida	Consumo Toneladas (t)	Factor de conversión a TCC	Consumo (TCC)	Por ciento (%)	Por ciento Acumulado (%)
Electricidad	MWh	1206,916	1,00	MWh	1206,9160	0,3437	414,7567	99,615	99,6150
Aceites lubricantes	ML	1160,000	1119,59	T	1,0361	1,0000	1,0361	0,2488	99,8639
GLP	kg	450,000	1000,00	T	0,4500	1,1631	0,5234	0,1257	99,9896
Grasas lubricantes	kg	36,000	1000,00	T	0,0360	1,0000	0,0360	0,0086	99,9982
Diésel	ML	6,716	1178,55	T	0,0057	1,0534	0,0060	0,0014	99,9997
Gasolina regular	ML	1,602	1367,24	T	0,0012	1,0971	0,0013	0,0003	100,0000
TOTAL							416,3595	100	

Fuente. Elaboración propia.

En las Figura 2.4 y Figura 2.5 se observa el consumo de los portadores energéticos de la empresa en los años 2018 y 2019.

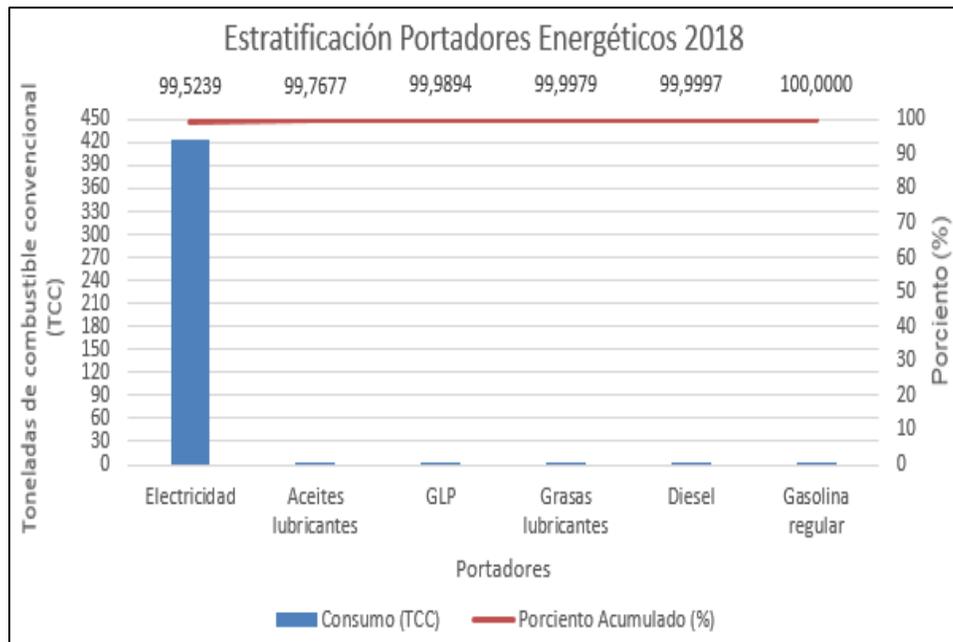


Figura 2.4. Consumo de portadores energéticos año 2018. **Fuente.** Elaboración propia.

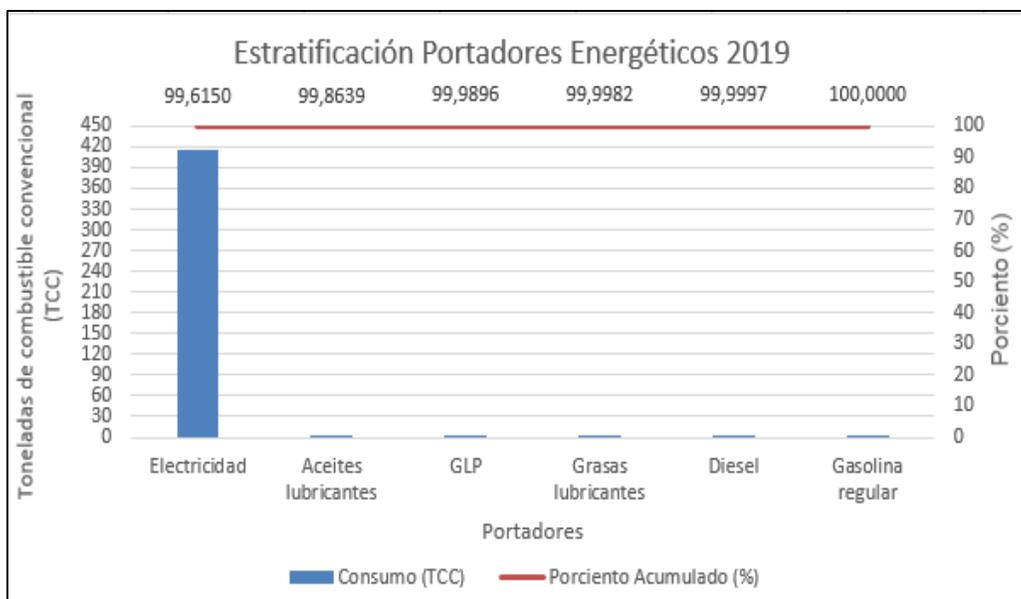


Figura 2.5. Consumo de portadores energéticos año 2019. **Fuente.** Elaboración propia.

Con los valores mostrados en la Tablas 2.6 y 2.7 y los gráficos anteriores podemos destacar que en el período de 2018-2019 el portador electricidad es el de mayor consumo con valores elevados de 99,5239 % en 2018 y 99,6150 % en 2019 con respecto al consumo total de todos los portadores. Esto se debe a que todos los equipos involucrados en el proceso de refrigeración demandan de este portador. El resto de los portadores presentan un consumo insignificante con respecto al consumo total con cifras por debajo del 1%, esto trae consigo que en el gráfico combinado de barras y líneas, solo sea notable la barra perteneciente al portador electricidad y la variable del porcentaje acumulado tenga el comportamiento de línea.

El consumo de energía eléctrica en estos años equivale a 422,9067 TCC en 2018 y 414,7567 TCC en 2019.

2.6. Consideraciones sobre el portador electricidad.

La electricidad se destaca como el principal portador energético en la Filial Frigorífico Cienfuegos pues para brindar su principal servicio de refrigeración de las cámaras de almacenamiento de productos alimentarios es necesario la operación de equipos altos consumidores de energía eléctrica.

En la siguiente tabla se muestra el plan, consumo real e importe del portador electricidad en el período 2018-2019.

Tabla 2.8. Plan, Consumo Real e Importe de la Electricidad en el 2018.

<i>Electricidad(MWh) 2018</i>			
Meses	Plan 2018	Consumo Real 2018	Importe(CUP) 2018
Enero	80	91,63	15950,90
Febrero	80	80,43	15615,56
Marzo	120	75,14	15581,17
Abril	130	115,24	18534,95
Mayo	130	118,33	20324,88
Junio	130	115,01	20169,00
Julio	130	118,41	21252,54
Agosto	130	120,5	21252,54
Septiembre	100	106,6	19132,02
Octubre	90	108,56	19390,06
Noviembre	90	85,46	16328,40
Diciembre	90	98,55	17513,39

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 2.9. Plan, Consumo Real e Importe de la Electricidad en el 2019.

<i>Electricidad(MWh)2019</i>			
Meses	Plan 2019	Consumo Real 2019	Importe(CUP) 2019
Enero	100	65,588	12873,95
Febrero	100	81,447	14919,09
Marzo	100	101,095	17631,22
Abril	100	101,952	18077,90
Mayo	100	121,903	20537,33
Junio	100	120,948	20053,08
Julio	100	105,274	19112,73
Agosto	100	116,918	20198,56
Septiembre	80	113,251	19942,73
Octubre	50	107,578	18828,78
Noviembre	50	92,159	16341,97
Diciembre	50	78,803	15014,56

Fuente. Elaboración propia.

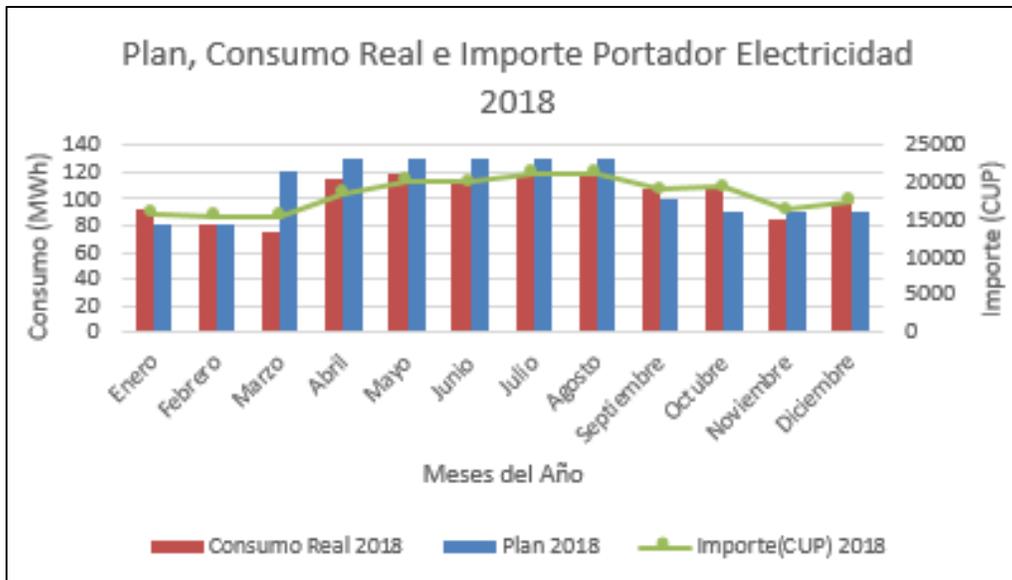


Figura 2.6. Plan, consumo real e importe del portador electricidad en el año 2018.
Fuente. Elaboración propia.

En el gráfico anterior se observa como en los meses de abril a agosto aunque el consumo logró mantenerse por debajo de los planes asignados son los de mayor consumo en el año 2018 con valores por encima de los 110 MWh, pues son los meses destinados al almacenamiento de la papa de semilla y la papa de consumo nacional, productos que exigen rangos de temperaturas muy bajos con valores de 2°C a 4°C para la papa de semilla y de 4°C a 6°C para la de consumo nacional. Además se aprecia como el importe es directamente proporcional al consumo eléctrico, por lo que de igual forma de abril a agosto son los meses en los que la empresa tiene los mayores gastos debido al portador electricidad.

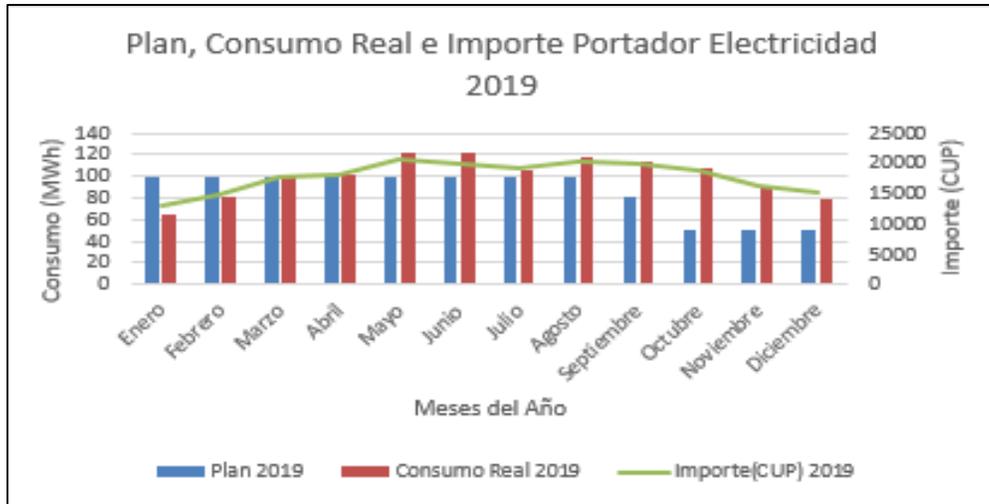


Figura 2.7. Plan, consumo real e importe del portador electricidad en el año 2019.

Fuente. Elaboración propia.

En el año 2019, de igual manera por el almacenamiento de la papa, los mayores consumos corresponden a los meses desde mayo hasta septiembre con una ligera disminución en julio, pero manteniéndose por encima de los 100 MWh de asignación correspondientes a ese mes. Entre estos dos años analizados el mayor consumo estuvo dado en 2018.

2.7. Análisis y control de los consumos del portador electricidad en los años 2018 y 2019.

2.7.1. Determinación de los usos significativos de la energía.

Se construye un Diagrama de Pareto que es una gráfica descendente que nos permite identificar los usos significativos de la energía en la Filial Frigorífico Cienfuegos. El principio de Pareto representa la regla 80/20, es decir, que en la mayoría de las situaciones, el 80% de las consecuencias son debido al 20 % de las causas.

En la Figura 2.8 se observa el Diagrama de Pareto construido a partir del consumo eléctrico diario por áreas de la instalación. Se deduce que las áreas correspondientes a Sala de Máquinas y Cámaras de Almacenamiento son las principales consumidoras de energía eléctrica de la entidad ya que son las áreas

donde se encuentran ubicados los equipos que intervienen en el proceso de refrigeración, que además de tener potencias altas, trabajan de 8 a 10 horas diarias.

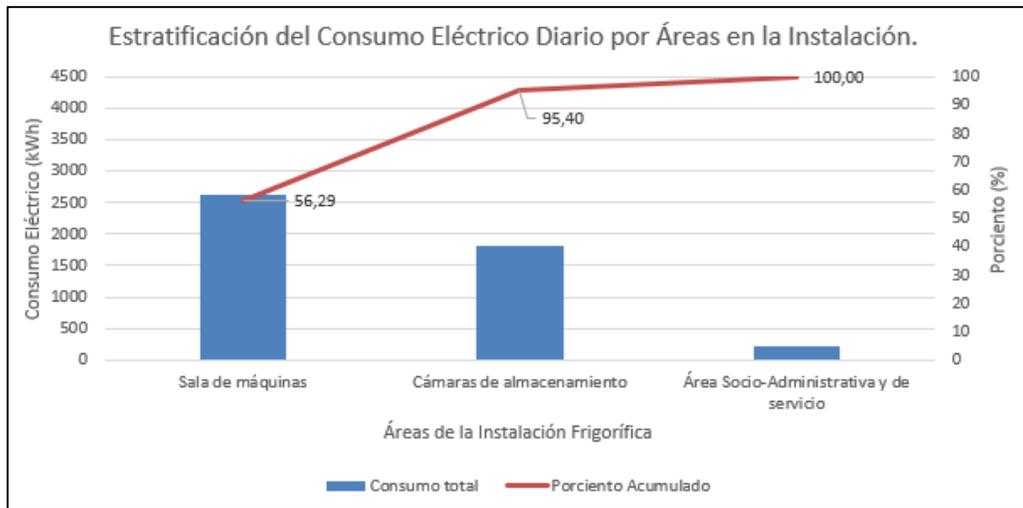


Figura 2.8. Consumo Eléctrico Diario por Áreas en la Instalación. **Fuente.** Elaboración propia.

A continuación se presentan los equipos que conforman la Sala de Máquinas con el fin de conocer específicamente los equipos que hacen parte de los usos significativos de la energía, con fuerte potencial de ahorro energético y económico.

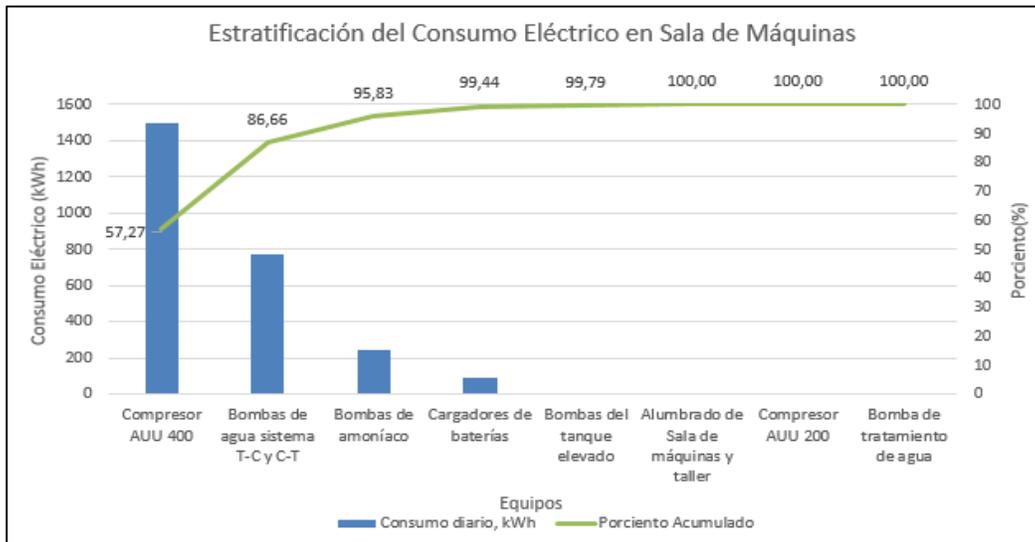


Figura 2.9. Consumo eléctrico por equipos en Sala de Máquinas. **Fuente.** Elaboración propia.

En el Diagrama de Pareto anterior se observa que los mayores consumidores de energía eléctrica son el Compresor AUU 400 con una potencia de trabajo de 150 kWh y un régimen de operación de 10 h de trabajo al día, consumiendo 1500 kWh al día, valor que representa el 57,27 % del consumo total de todos los equipos que integran el área y en segundo lugar las bombas de agua del sistema de enfriamiento de condensadores y compresores con el 29,39 % del total, lo que nos da un total de 86,66 % de la energía consumida en el área.

También se realiza la estratificación del consumo eléctrico en Cámaras de Almacenamiento en la Figura 2.10.

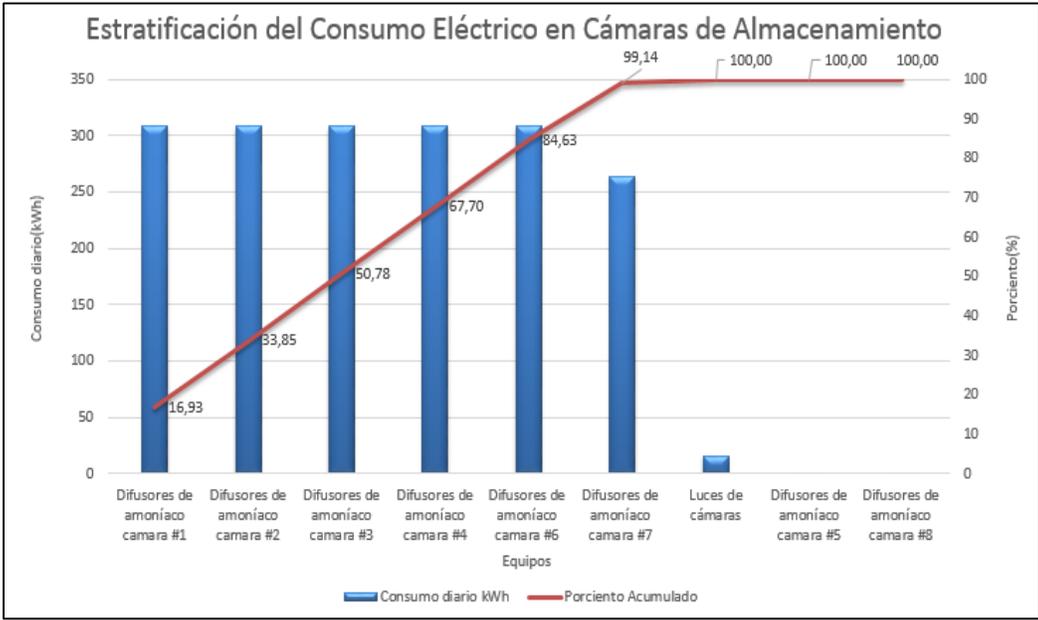


Figura 2.10. Consumo eléctrico por equipos en Cámaras de Almacenamiento. **Fuente.** Elaboración propia.

Se obtiene que los mayores consumidores son los difusores de amoníaco ubicados en las cámaras 1, 2, 3, 4 y 6, en las cuales se almacenan mayores cantidades de productos y los mismos requieren valores bajos de temperaturas (4°C - 6°C) por ejemplo las diferentes variedades de papas, pulpas, conservas, purés. No siendo así con las cámaras 5, 7 y 8 las cuales a pesar de su gran volumen de almacenamiento de harina, sémola, chicharos, frijoles y leche en polvo no requieren de temperaturas tan bajas (18°C - 20°C).

Los rangos de conservación de los diferentes productos se pueden observar en el **Anexo 2**.

2.7.2. Gráfico Consumo Eléctrico VS Toneladas Almacenadas.

Como primer análisis se realizan los gráficos que representan la producción (toneladas almacenadas) y el consumo energético con respecto a un tiempo dado, en este caso se recopilaron los datos mensuales en los años 2018 y 2019. Con esto se permitirá observar cómo se comportan los datos y si existe correlación entre ellos.

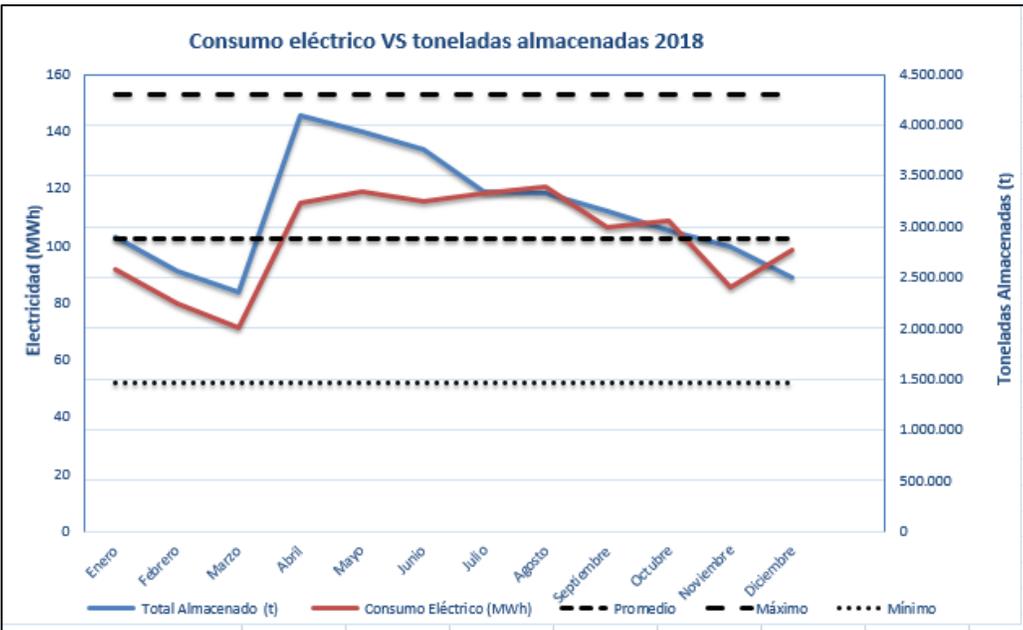


Figura 2.11. Consumo eléctrico VS Toneladas Almacenadas en 2018. **Fuente.** Elaboración propia.

En el gráfico se muestra que en el año 2018 la media del consumo eléctrico fue de 102,55 MWh para 3 145 006 t como promedio de los productos almacenados en 2018. Se establecieron los límites inferior y superior de 51,90 MWh y 153,20 MWh respectivamente.

Los mayores consumos se concentran desde abril a octubre por encima de los 100 MWh, pues en estos meses se almacena mayor cantidad de productos que exigen rangos bajos de temperaturas.

Los datos utilizados para la construcción del gráfico anterior se muestran en el **Anexo 3**.

De igual manera se grafica los consumos eléctricos y la producción (toneladas almacenadas) correspondientes al año 2019.

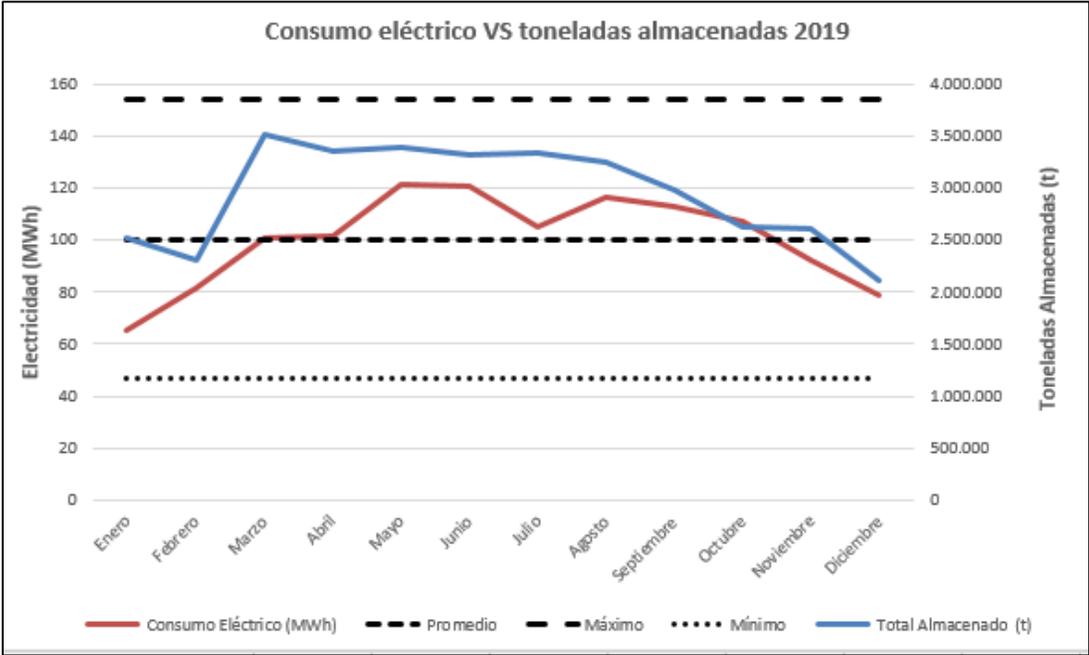


Figura 2.12. Consumo eléctrico VS Toneladas Almacenadas en 2019. **Fuente.** Elaboración propia.

En el año 2019 la media del consumo eléctrico fue de 100,57 MWh para 2 951 812 t como promedio de los productos almacenados en 2019. Se establecieron los límites inferior y superior de 47,01 MWh y 154,13 MWh respectivamente. Los mayores consumos se concentran desde mayo a septiembre por encima de la media, pues en estos meses se almacena mayor cantidad de productos que exigen rangos bajos de temperaturas. La disminución o aumento de la energía depende además, de equipos que estén en operación, horas trabajadas y paradas por mantenimiento.

Los datos utilizados para la construcción del gráfico anterior se muestran en el **Anexo 4**.

En las Figura 2.11 y Figura 2.12 se evidencia que entre el consumo eléctrico y la producción almacenada hay una relación directamente proporcional.

2.7.3. Líneas bases energéticas.

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

En el caso del frigorífico la producción se entiende como cantidad de productos almacenados en el periodo de tiempo considerado, expresadas en toneladas (t).

La línea de base energética es el punto por el cual parte el mecanismo de evaluación del desempeño energético en la organización, representa el análisis base o de referencia a partir del cual se establecerá un control y monitoreo de los indicadores de desempeño energético establecidos para el SGE a través de una mejor gestión de la energía empleando mejores prácticas de operación y mantenimiento con el fin de medir los ahorros. Es importante que la línea de base energética se plantee bajo condiciones normales de trabajo, para que los resultados del análisis sean significativos y pertinentes.

A partir de la construcción de la línea base se obtiene el coeficiente de correlación (R^2) el cual permite describir como es la relación entre las variables analizadas. La interpretación del valor de (R^2) se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2.10. Criterio del coeficiente de correlación.

Valor R2	Relación E y P
0 – 0.04	Despreciable
0.04 – 0.16	Débil
0.16 – 0.49	Moderada
0.49 – 0.8	Fuerte
0.8 - 1	Muy fuerte

Fuente. (Marquez, 2020).

Un buen coeficiente de correlación es asociado a valores mayores que 0,75.

A continuación se realizarán los diagramas de dispersión Consumo de energía VS Producción en los años 2018 y 2019 con el fin de analizar la correlación que existe entre estas variables y obtener la línea de base energética del proceso de refrigeración en la Filial Frigorífico Cienfuegos a partir de la línea que ofrezca mayor valor de R^2 .

El diagrama de dispersión con el objetivo de determinar la correlación inicial que presentan las dos variables (Consumo de energía y producción) en el año 2018 se muestra en la siguiente gráfica.

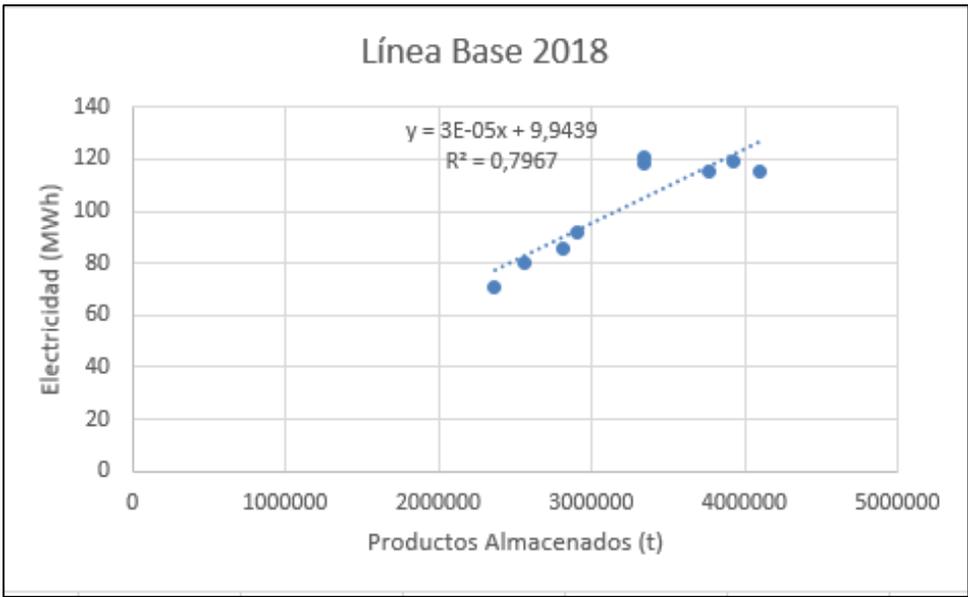


Figura 2.13. Línea Base Consumo eléctrico VS Toneladas Almacenadas en 2018.
Fuente. Elaboración propia.

Teniendo en cuenta los aspectos teóricos señalados con antelación, en el gráfico de dispersión de la Figura 2.13, el coeficiente de correlación obtenido es de 0,7967 clasificado según la tabla 2.10 como fuerte.

Por otra parte la ecuación de consumo obtenida es:

$$y = 0,00003x + 9,9439$$

Donde:

y: es la cantidad de energía (E) en [MWh/día] consumida para una cantidad específica de producto.

m: 0,00003 es la pendiente y representa la razón de consumo de energía por producción.

x: es la cantidad de producto almacenado en [t].

E_0 : 9,9439 es el consumo no asociado a la producción (MWh).

En la Figura 2.14 se muestra la Línea de base energética obtenida del consumo eléctrico y las toneladas almacenadas en el año 2019.

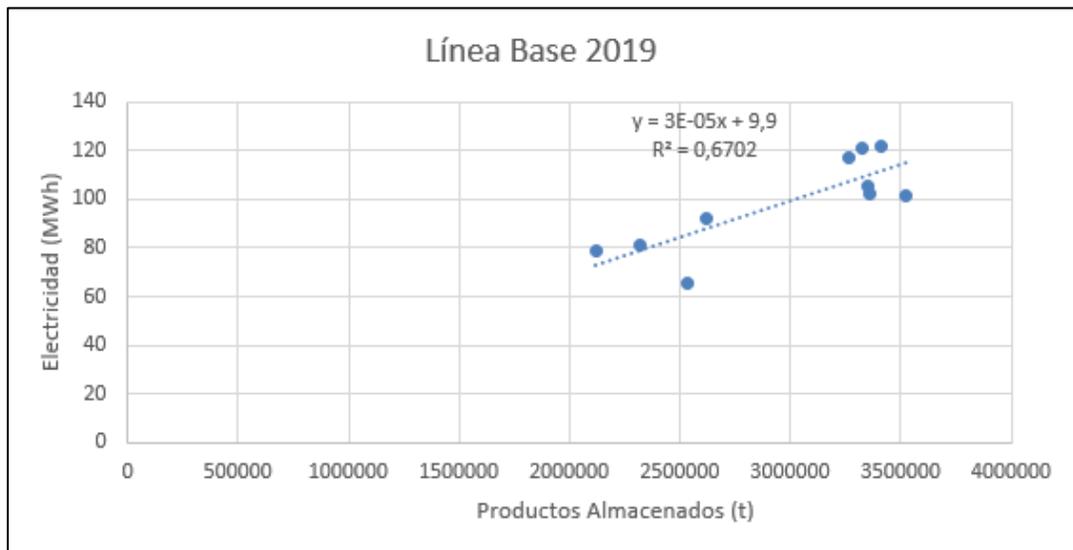


Figura 2.14. Línea Base Consumo eléctrico VS Toneladas Almacenadas en 2019.

Fuente. Elaboración propia.

El coeficiente de correlación obtenido es de 0,6702 clasificado según la tabla 2.10 como fuerte pero es menor a 0,75.

Por otra parte la ecuación de consumo obtenida es:

$$y = 0,00003x + 9,9$$

Donde:

y: es la cantidad de energía (E) en [MWh/día] consumida para una cantidad específica de producto.

m: 0,00003 es la pendiente y representa la razón de consumo de energía por producción.

x: es la cantidad de producto almacenado en [t].

E₀: 9,9 es el consumo no asociado a la producción (MWh).

Del análisis anterior podemos resumir los siguientes resultados en la Tabla 2.11.

Tabla 2.11. Comparación entre los índices de correlación de las líneas bases energéticas obtenidas.

Líneas Base Energética	Parámetros considerados	Año	Índice de Correlación R ²
Línea Base Energética 1	Consumo eléctrico VS Toneladas Almacenadas.	2018	0,7967
Línea Base Energética 2	Consumo eléctrico VS Toneladas Almacenadas.	2019	0,6702

Fuente. Elaboración propia.

De los valores anteriores la mejor correlación la ofrece el Consumo eléctrico VS Toneladas Almacenadas en el año 2018 por lo que la Línea Base Energética # 1 es la más adecuada para monitorear y controlar los consumos de energía eléctrica en el proceso.

Se puede entender que dentro de estos valores históricos hay datos que pertenecen a meses donde se presentan actividades de mantenimiento, paradas de proceso por algún factor externo o interno, falla en alguna subestación, días no laborales,

entre otros sucesos que pueden repercutir en este factor en base al comportamiento general de los datos.

2.7.4. Líneas de metas energéticas.

Las líneas de metas energéticas se construyen con relación a las líneas de base y los puntos de consumo que se encuentran por debajo de la línea de tendencia, pues estos puntos representan una producción más eficiente.

La Figura 2.15 muestra las líneas de base y metas energéticas del proceso de refrigeración en la Filial Frigorífico Cienfuegos.

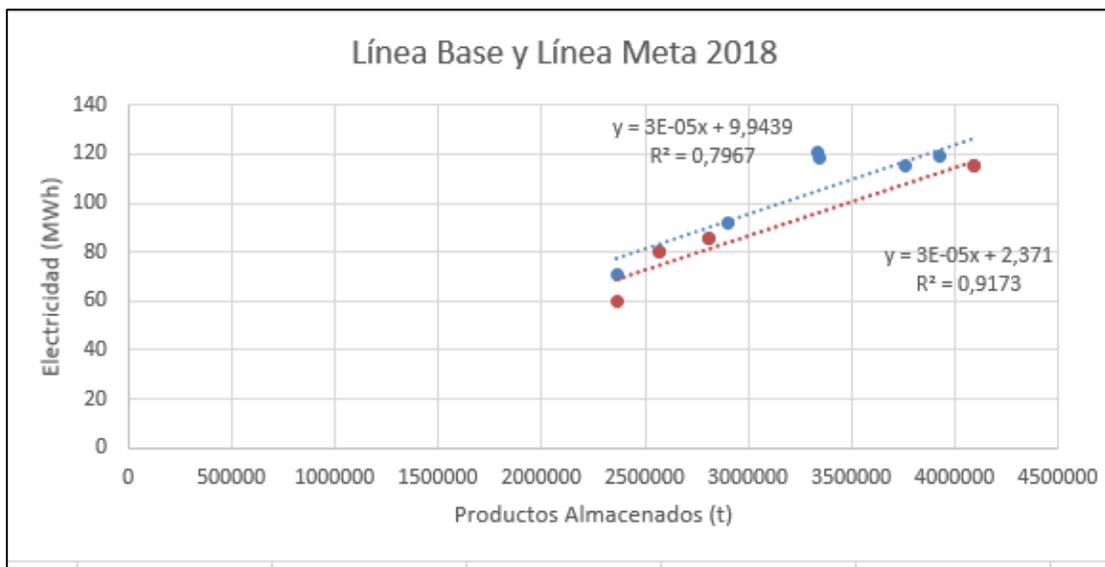


Figura 2.15. Línea Base y Línea Meta Consumo eléctrico VS Toneladas Almacenadas en 2018. **Fuente.** Elaboración propia.

Como se puede observar en la línea meta se obtuvo una mejor correlación de los datos pues el valor de R^2 es de 0,9173 y disminuye el valor de energía no asociada a la producción.

2.8. Producción Crítica.

En la Figura 2.16 se muestra el gráfico de la producción crítica.

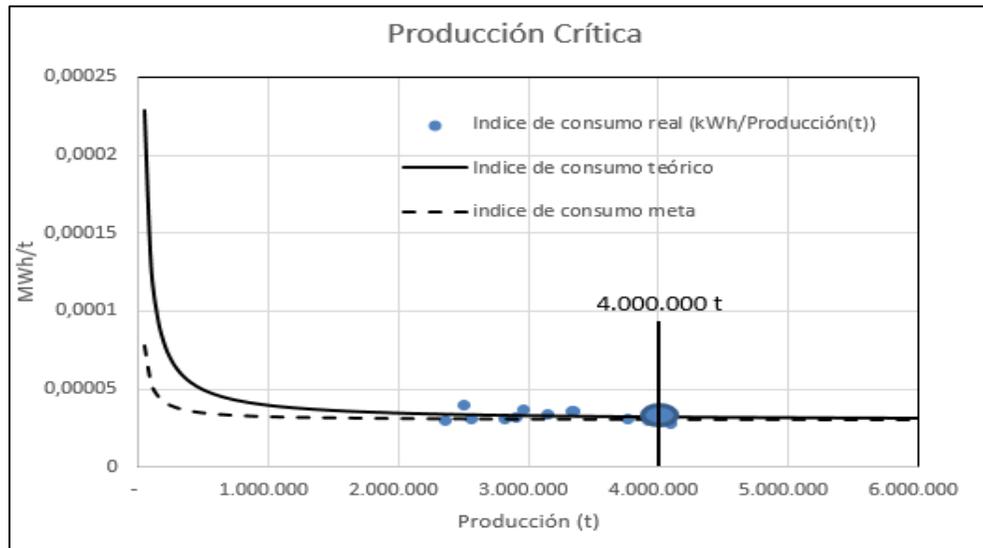


Figura 2.16. Producción Crítica. **Fuente.** Elaboración propia.

Del gráfico anterior se deduce que el valor de producción crítica es de 4 000 000 t, pues es el valor a partir del cual el proceso tiene mejor eficiencia logrando así mantener consumos prácticamente constantes para producciones almacenadas mayores que el valor de producción crítica.

2.9. Indicadores de desempeño energéticos.

En toda instalación resulta de gran importancia contar con un sistema interno conciso de administración de todos los datos relacionados con la energía, que permita no solamente medir y recolectar datos, sino también evaluar las informaciones obtenidas, deducir acciones necesarias y actuar adecuadamente.

Los indicadores de desempeño energético (IDE) son medidas cuantificables del desempeño energético de la empresa. Se utilizan para la toma semanal y mensual de decisiones principalmente de mantenimiento y producción dentro de la planta. También sirven para ser utilizados por los coordinadores y operarios de cada área en sus funciones diarias.

Para el caso de la Filial Frigorífico Cienfuegos proponemos a continuación un conjunto de índices económicos y energéticos integrales para el análisis de la

utilización de la energía eléctrica, que deben convertirlos no sólo en herramientas de evaluación, sino también en herramientas de comparación y regulación de la explotación de estos.

2.9.1. *Indicador de Desempeño Energético.*

Una vez identificado el período base o línea de mejor ajuste, a través de un análisis de regresión lineal, este puede considerarse como una línea de base energética, a partir de la cual se puede monitorear y valorar el desempeño energético de la entidad.

Para comparar los Indicadores de Desempeño Energético con la línea base, es muy importante que la organización los identifique correctamente para posteriormente tomar decisiones de mejora. Este diagrama se realiza después de haber obtenido el gráfico Energía vs. Producción ($E = mP + E_0$), con un nivel de correlación significativo. La expresión de la función $IC = f(P)$ se obtiene de la siguiente forma:

$$E = mP + E_0 \quad (1)$$

$$IC = E/P = m + E_0/P \quad (2)$$

$$IC = m + E_0 / P. \quad (3)$$

En las Figuras 2.17 se determinó el IDEn para toneladas almacenadas.

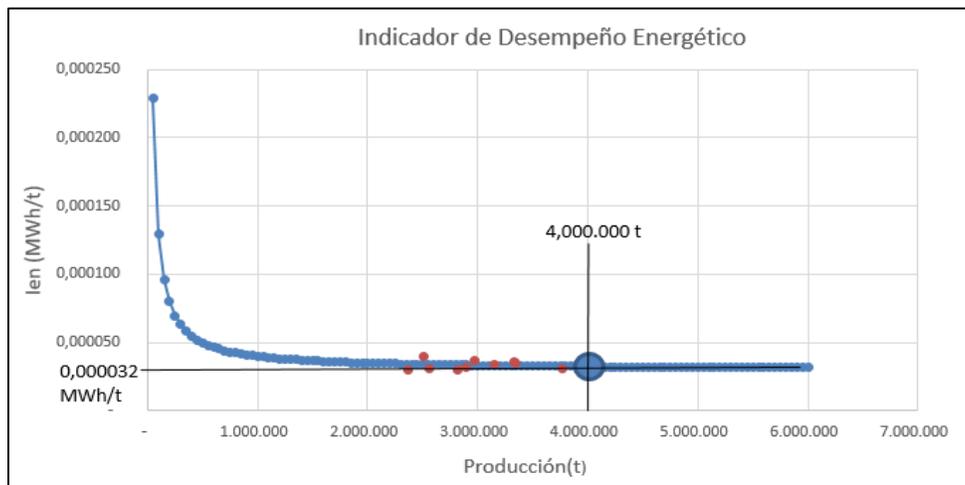


Figura 2.17. Índice de Desempeño Energético (Ien VS Producción). **Fuente.** Elaboración propia.

En el gráfico los puntos que representan una tendencia asintótica horizontal corresponden a puntos de operación eficiente, debido a que, mientras mayor es la producción, menor es la cantidad de energía consumida por tonelada de producto almacenado. Además, se puede apreciar que para una producción de 4 000 000 t se consumen 128 MWh, siendo el Indicador de Desempeño Energético en este punto de 0,000032 MWh/t, valor a partir del cual el proceso es más eficiente.

2.9.2. Índice de BASE 100.

Teniendo en cuenta los datos recopilados en la revisión energética y dado que la variable “consumo de energía” presenta una correlación fuerte teniendo en cuenta la tabla 2.10 respecto a la variable “producto almacenado” en el proceso de refrigeración de las cámaras. Se propone el uso del indicador base 100 para este proceso.

Este indicador consiste en comparar la energía eléctrica que se consume para una cantidad específica de producto almacenado sobre la energía eléctrica que debería consumirse según la ecuación de la línea base para la misma cantidad de producto almacenado.

Así pues, se considera que:

- Si el indicador base 100 es mayor al 100% significa que hay un buen desempeño energético.
- Si el indicador base 100 es igual al 100% significa que el desempeño energético se mantiene con relación al desempeño energético teórico.
- Si el indicador base 100 es menor al 100% significa que hay un menor desempeño energético del que se debería tener teóricamente

A continuación en la Figura 2.18 se muestra el comportamiento del indicador base 100 para el proceso de refrigeración de las Cámaras de Almacenamiento en el año 2018.

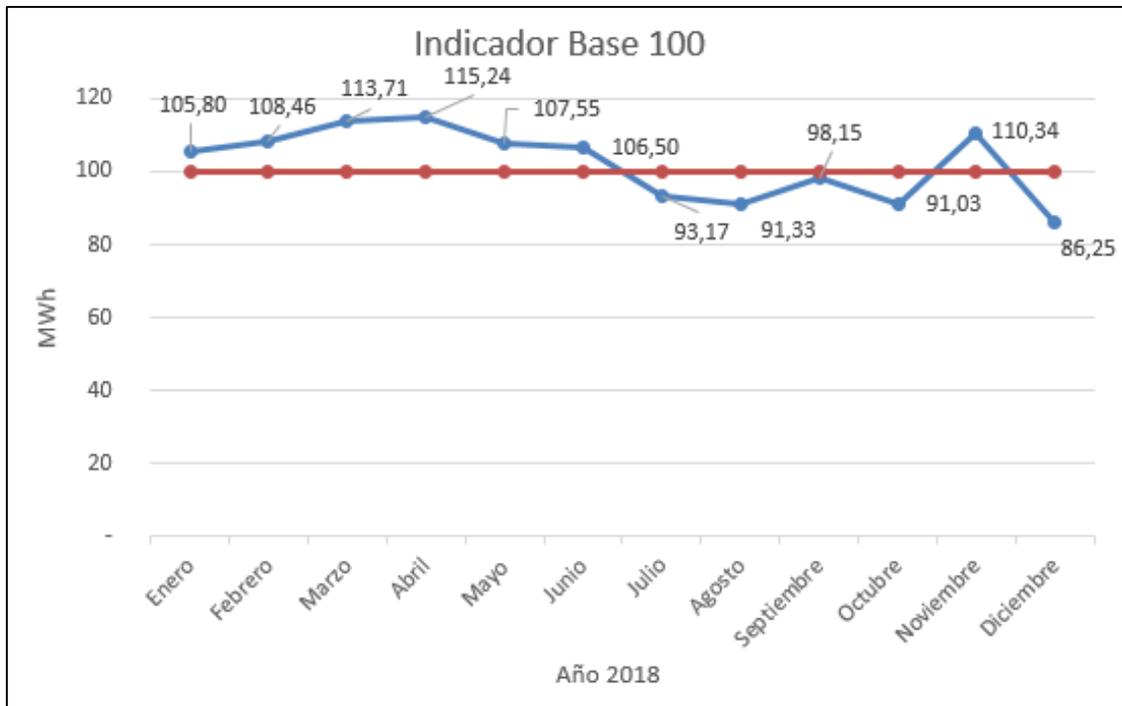


Figura 2.18. Índice Base 100. **Fuente.** Elaboración propia.

Se puede observar que la mayor parte del año el indicador muestra un buen desempeño energético. En los meses de julio a octubre y diciembre el desempeño fue deficiente con relación al desempeño energético teórico obtenido mediante la ecuación de la línea de base energética.

2.9.3. *Indicador CUSUM.*

El indicador CUSUM permite detectar de forma gráfica cambios de consumo de energía que están alejados de la media del consumo de energía del proceso. Debido a que este indicador representa las sumas acumulativas de la diferencia entre el consumo de energía real y el consumo de energía base.

Se deben tomar en consideración las siguientes premisas para analizar los resultados que se obtengan.

- Si el valor es negativo (-), el desempeño energético es bueno.
- Si el valor es cero (0), no existe una variación en el desempeño energético.
- Si el valor es positivo (+), el desempeño energético es deficiente

La Figura 2.19 muestra el desempeño del indicador de sumas acumulativas CUSUM.

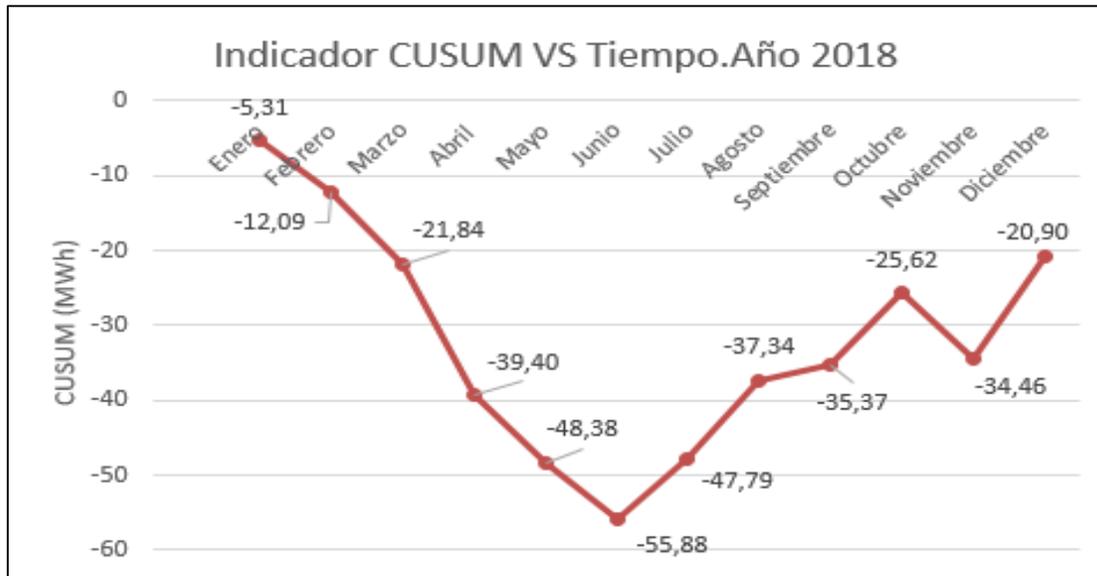


Figura 2.19. Indicador CUSUM. **Fuente.** Elaboración propia.

Considerando las premisas definidas anteriormente, se puede observar que el gráfico del indicador CUSUM refleja un buen desempeño energético de la organización. A pesar de la suma acumulativa encontrarse por debajo de cero en todo el año, en los meses de julio a octubre y diciembre hubo una disminución en el desempeño energético pues la curva tuvo una tendencia creciente.

Conclusiones parciales del Capítulo II.

1. En la Filial Frigorífico Cienfuegos el principal portador energético es la electricidad con el 99,5239 % del consumo total de todos los portadores. Se analizó el consumo de este portador en los años 2018 y 2019, el mayor consumo corresponde al año 2018 con 1230,632 MWh.
2. Se identifican como usos significativos de la energía dos áreas: Sala de Máquinas con el 56,29 % y Cámaras de Almacenamiento con el 39,11 % del consumo total de toda la instalación.

3. A partir de la correlación fuerte entre el Consumo eléctrico y Toneladas almacenadas se obtiene la línea de base energética del proceso, la cual permite analizar, controlar y monitorear el comportamiento de los consumos eléctricos. Con los puntos que quedan por debajo de la línea de tendencia de la línea base se construye la línea meta, la cual describe un comportamiento más eficiente de la energía.
4. Se definen 3 indicadores de desempeño energético que aportan a la empresa un sistema interno conciso de administración de todos los datos relacionados con la energía.

CAPITULO 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

3.1. Identificación de las oportunidades de mejoras.

Considerando los resultados obtenidos en las diferentes etapas de la revisión energética, el análisis de los procesos y las recomendaciones del personal de control operacional y mantenimiento se procede a identificar las oportunidades de mejora de los usos significativos de la energía.

Se debe aclarar que las estimaciones de los ahorros se realizan comparando el comportamiento de consumo actual vs el comportamiento de consumo teórico del escenario propuesto. De modo que, los ahorros frigoríficos se calculan comparando la carga térmica que tiene el sistema actualmente (carga térmica base) vs la carga térmica que tendría en los escenarios que se proponen como una oportunidad de mejora.

A continuación, la Tabla 3.1 define los tipos de medidas de ahorro energético empleadas para identificar las oportunidades de mejora de la Filial Frigorífico Cienfuegos.

Tabla 3.1. Medidas de ahorro energético.

Tipo de medida	Definición
Control operacional	Medidas destinadas a garantizar la detección, control y prevención de las malas prácticas operacionales que se puedan presentar en la organización.
Prácticas operacionales	Medidas relacionadas al uso de metodologías o herramientas que ayuden al operario a mejorar su desempeño en el proceso productivo.
Ajustes de parámetros operacionales	Medidas destinadas a modificar los parámetros de control operacional con el fin de optimizar el desempeño de las variables operacionales.
Cambios tecnológicos	Medidas orientadas a la adquisición de un nuevo equipo o reemplazo de uno existente con el fin de mejorar el desempeño energético de la organización

Fuente. (Serrano Parra, 2019).

La primera oportunidad de mejora que se identifica corresponde a una medida de control operacional dirigida a garantizar un control eficaz del desempeño energético de la organización, mediante la medición del consumo puntual de energía eléctrica de la planta. Es importante saber el consumo exacto de energía que presenta la planta, ya que en caso de desconocerse no se puede saber con exactitud si una reducción en el consumo de energía corresponde a una mejora en el desempeño energético o a cambios en el proceso.

La segunda oportunidad de mejora relacionada con las prácticas operacionales puede lograrse acometiendo las siguientes acciones:

- Tener en cuenta que se cumplan las condiciones de insulación de las tuberías.
- Reducir la carga por iluminación.
- Reducir la carga térmica por los productos.
- Reducir la cantidad de calor del medio exterior.
- Lograr la adecuada distribución de los productos, posibilitando la existencia de canales de aire entre ellos.

Dentro de los ajustes de parámetros operacionales que permiten el ahorro de energía y un mejor desempeño energético se destacan:

- Disminuir la temperatura y presión de condensación.
- Elevar la temperatura de evaporación hasta valores compatibles con el tipo de refrigerante y con la calidad de los productos.
- Elevar la eficiencia del equipo de compresión.
- Medidas encaminadas a reducir la carga térmica a satisfacer por el sistema de refrigeración disponible.
- Chequear con frecuencia el equipo de ajuste y control, por ejemplo: termostato, presostato, etc.
- Mantener la carga adecuada de refrigerante.

Además de estas medidas para lograr la eficiencia energética en cámaras frigoríficas es necesario la recopilación de datos relacionados con las diferentes variables operacionales mediante instrumentos de medición y control tanto en

equipos de Sala de Máquinas como en Cámaras de Almacenamiento. Dentro de estos instrumentos se encuentran:

- Instalación de variadores de velocidad: los grupos compresores funcionan más por velocidad que por capacidad, con estos sistemas podemos dimensionar adecuadamente la potencia suministrada.
- Instalación de medidores de temperatura y humidificación a partir de estas mediciones se puede obtener el grado correcto de humidificación ambiental para obtener el punto ideal en el que las etapas de condensación actúen en óptimas condiciones de rendimiento.
- Instalación de medidores y controladores energéticos en cámaras frigoríficas: el control y análisis de los datos es fundamental para estudiar las variaciones acometer.
- Instalación de los nuevos medidores en sonda del termostato (simulador de temperatura de alimentos) con la intención de estabilizar las posibles variaciones de temperatura, adecuación de uso y desgaste de equipos y aminorar ruidos y averías.

Los cambios tecnológicos contemplan la instalación de equipos de eficiencia energética. Una oportunidad de ahorro en este sentido es sustituir los compresores reciprocantes por compresores de tornillo, dadas sus ventajas para la regulación de la capacidad con menor afectación del consumo energético.

3.2. Propuesta de sustitución de los compresores reciprocantes por compresores de tornillo.

El compresor en un frigorífico es la parte más importante del sistema ya que es el encargado de mover el refrigerante entre el elemento a enfriar y el elemento receptor de esta energía, por tanto se puede decir que es el motor del sistema y sin el cual sería imposible el transporte de dicha energía. Sin embargo, es la parte del sistema que cuenta con más elementos en movimiento y por tanto susceptibles de romperse, de hecho, es el responsable de la mayoría de los problemas que provocan paros en la producción y también es el responsable del consumo de la mayoría de la potencia eléctrica de la instalación frigorífica en tanto este es un

elemento que debe ser conocido a profundidad para asegurar con ello una correcta elección, garantizando así la seguridad y eficiencia frigorífica de explotación y por ende la eficiencia energética en el sistema.

Los tipos de compresores que fundamentalmente se utilizan en una instalación frigorífica son el compresor alternativo y el compresor de tornillo. A continuación se exponen algunas características de los mismos en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Ventajas y desventajas de los compresores alternativos y compresores de tornillo.

Tipo de compresores.	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Alternativos o Reciprocantes	<ul style="list-style-type: none"> • Precio hasta un 50% más barato que su equivalente el compresor de tornillo. • Mejor COP a cargas parciales. • Mantenimiento frecuente pero sencillo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Regulación de capacidad por etapas. • Frecuentes mantenimientos. • Temperaturas de descarga más elevadas lo que implica más consumo de aceite.
Compresores de Tornillo	<ul style="list-style-type: none"> • Es el compresor más empleado en refrigeración industrial. • Cuenta con menos mantenimiento. Cuenta con menos partes móviles y por tanto susceptibles de problemas. • Mejor COP al 100% de capacidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor precio. • Mano de obra especializada para su mantenimiento. • En los últimos modelos de compresores de tornillos se ha logrado un aumento en la producción frigorífica entre el 5 y el 15%, con reducciones en las potencias absorbidas entre el 2 y el 5%.

Fuente. (Acosta Cuenca, 2011).

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

Otras ventajas de este compresor son las siguientes:

- Mayor eficiencia volumétrica, por no existir espacio muerto no hay caída de presión, las fases de succión y descargas separadas, por lo que no hay transferencia de calor entre succión y descarga.
- La temperatura de descarga no exceden los 100°C, haciendo más eficiente el ciclo termodinámico de refrigeración.
- El flujo de refrigerante es continuo y por tanto produce pocas vibraciones, por lo que el costo de la construcción de las bases disminuye.
- Los costos de mantenimientos son mínimos, ya que solamente están sometidos a desgaste, los rodamientos y la utilización del aceite y los filtros cuando cubren las horas de trabajo.
- Por su alta eficiencia volumétrica y buen comportamiento para altas relaciones de compresión, permite la sustitución de dos compresores reciprocantes para las 2 etapas (alta y baja); por un compresor de tornillo de una sola etapa.
- Los compresores de tornillos no son afectados por los golpes de líquidos, esto implica mayor seguridad en la explotación y fundamentalmente para las vidas humanas; que es lo contrario a lo que ocurre en los compresores reciprocantes que causa roturas, en ocasiones escape de amoniaco, por tanto interrupción en el funcionamiento del sistema, gastos de reparación hasta posibles pérdidas de productos almacenados en los frigoríficos sino se cuenta con compresor sustituto.
- Como posee grandes desplazamientos volumétricos permite con un solo compresor llevarse toda la carga de una etapa en toda la instalación; permitiendo

tener un solo compresor en la etapa de baja y uno en la etapa de alta, y tener un compresor de respaldo, con doble propósito para la etapa de baja y de alta, cuando la carga lo requiera, por mantenimiento o rotura de un compresor.

- Otra de las ventajas y no menos importante es que el compresor posee un microprocesador que permite controlar digitalmente y de forma automática los siguientes parámetros: presiones de succión, descarga, aceite del compresor y de los filtros que tiene incorporados; temperatura de succión, descarga y aceite; Set point de alarma y falla del compresor; control del consumo de corriente del motor eléctrico, de acuerdo al régimen de trabajo del compresor; registro automático en la pantalla del estado de la operación normal del equipo cada 15 minutos (guardando los 90 últimos registros); registro automático de los estados de alarma y fallas; registro e indicación del tiempo de operación del equipo y consumo de energía eléctrica diaria; modo de operación manual, local automático y remoto automático; puerto de salida para impresora local a través de simple interconexión y visualización instantánea de los parámetros de operación en tiempo real.

Un análisis comparativo de la factibilidad de sustitución de los compresores de tornillos se muestra en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Valoración de cambio de compresores de tornillo.

Compresores instalados (Total 7 reciprocantes) (4 trabajo) (3 reserva)			Propuesta de compresores (1 de tornillo para trabajo) (mantener 2 reciprocantes de reserva)			Ahorro (kW/h)
Potencia Frigorífica Instalada (kW)	Consumo Energía Total (kW/h)	COP	Potencia Frigorífica a Instalar (kW)	Consumo Energía Total (kW/h)	COP	
1395,6	600	2,32	1378,3	322,8	4,27	277,2

Fuente. Elaboración propia.

Especificaciones de la propuesta del compresor de tornillo en el **Anexo 5**

Para obtener la capacidad total en kW de los compresores recíprocos instalados se utilizó el dato de chapa de 300 000 kcal/h correspondiente a la capacidad unitaria de los mismos.

$$300\ 000\ \text{kcal/h} = 348,9\ \text{kW} = 99,20\ \text{TR}.$$

El dato antes mencionado del fabricante se puede observar en el **Anexo 6**.

El Coeficiente de Rendimiento (COP) es el resultado de dividir la potencia calorífica entre la potencia eléctrica que se consume. Cuanto más alto es el coeficiente, más eficiente es el equipo, pues este genera más kW de calor por kW consumido y esto contribuye un ahorro en la factura de la energía eléctrica.

Como se puede observar en la misma, el cambio de compresores de tornillo que constituye una tecnología más avanzada produce un ahorro en la potencia instalada de 277,2 kW/h, lo que significaría suponiendo 10 horas de trabajo diarias durante los 12 meses del año un total de 1 011 780 kWh ahorrados al año solo por este concepto. Este comportamiento solo sería posible cuando la producción almacenada en cámaras se acerca al 100 % y fuese necesario utilizar el 100% de potencia de compresión para la refrigeración de las mismas.

3.3. Evaluación económica de la sustitución de los compresores.

El Valor actual Neto (VAN) es un indicador financiero que sirve para determinar la viabilidad de un proyecto. Si tras medir los flujos de los futuros ingresos y egresos y descontar la inversión lineal queda alguna ganancia, el proyecto es viable.

$$\text{VAN} = \frac{R_t}{(1+i)^t}$$

VAN: valor actual neto.

R_t : flujo de caja neto en el periodo t .

i : tasa de descuento.

t : periodo de flujo de caja.

Para poder calcular el VAN se utilizaron los siguientes datos mostrados en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4. Datos para el cálculo de la evaluación económica.

Datos iniciales		Año 0	Año 1
Ingresos (I), \$			71.336,91
Gastos (G), \$			50.599,76
Costo inversión (Ko)		26.484,60	
Tasa de descuento (r), %			16,35
Tasa de inflación (f), %			7
Margen de riesgo, %			3
Tasa de impuesto (t), %			35
Vida útil estimada, años			10

Fuente. Elaboración propia.

El costo de la inversión está dado por la compra del compresor de tornillo y datos asociados a su instalación, estos datos se observan en la Tabla 3.5.

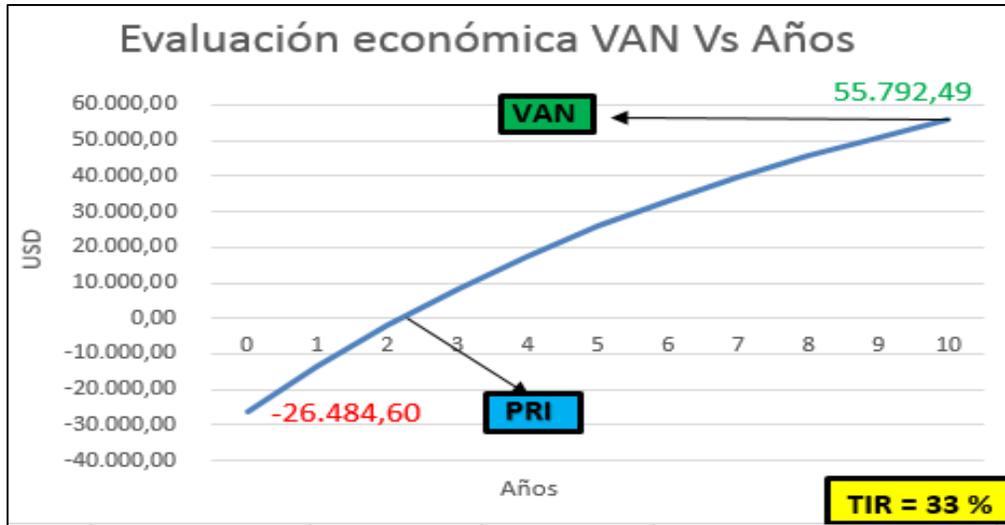
Tabla 3.5. Datos del Costo de Inversión.

DENOMINACIÓN	CANT	PRECIO	TOTAL
Compresor de Tornillo para Amoniaco	1	6399,72	6399,72
Civil y Montaje			10367,55
Otros Gastos de la Construcción			2073,51
TOTAL Construcción Y Montaje			12441,06
OTROS			7643,83
TOTAL INVERSION			26484,60

Fuente. Elaboración propia.

En la Figura 3.1 se muestra los resultados de la evaluación económica.

Figura 3.1. Valor Actual Neto y Período de Recuperación de la Inversión.



Fuente. Elaboración propia.

El gráfico nos muestra un valor positivo del VAN lo que significa que es factible realizar la inversión ya que generará beneficios. El periodo de recuperación de la inversión (PRI) es de un poco más de dos años pues es el período a partir del cual el VAN se hace cero.

Por otro lado la Tasa Interna de Retorno (TIR) refleja un 33 %, índice que indica la rentabilidad de la inversión y dicho valor significa que por cada año se obtendrá un ingreso del 33 % con respecto al presupuesto invertido.

Ver el desarrollo del cálculo anterior en el **Anexo 7**.

CONCLUSIONES.

1. La gestión energética empresarial es uno de los principales problemas que afectan la eficiencia energética y el ahorro en Cuba pues esta no ha logrado ser implantada y aplicada en la gran mayoría de las empresas cubanas. Desde el punto de vista energético los frigoríficos industriales están catalogados como grandes consumidores de energía, fundamentalmente eléctrica. En el contexto cubano estos representan una parte importante de la demanda eléctrica del sector industrial y son objeto de análisis en los estudios de políticas energéticas.
2. En la Filial Frigorífico Cienfuegos el principal portador energético es la electricidad con el 99,5239 %. Los usos significativos de la energía están dados por dos áreas dentro de la empresa: Sala de Máquinas con el 56,29 % y Cámaras de Almacenamiento con el 39,11 % del consumo total de toda la instalación. En Sala de Máquinas los equipos mayores consumidores son los compresores y en el área de almacén resultaron ser los difusores de las cámaras donde se almacenan los productos a temperaturas bajas (0°C-6°C).
3. Se obtuvo la Línea Base Energética del proceso $E = 0,00003 \cdot x + 9,9439$ a partir de la relación Consumo de energía VS Producción en el año 2018, mostrando una fuerte correlación con un valor de $R^2 = 0,7967$. La Línea Meta Energética obtenida fue $E = 0,00003 \cdot x + 2,371$ con un ajuste al modelo de $R^2 = 0,9173$. Los indicadores de desempeño energético (IDE) son las herramientas cuantificables que permiten monitorear y controlar el comportamiento de la energía en la empresa. Se establecieron el Indicador Base 100, Indicador CUSUM y el de desempeño energético. Se determinó como producción crítica el valor de 4 000 000 t.
4. Como oportunidades de ahorro se destaca la sustitución de compresores recíprocos por compresores de tornillo que permiten regular su capacidad ajustándose a la demanda real por lo que puede trabajar por debajo del 100% provocando ahorros de energía eléctrica, constituyendo esta una de sus principales ventajas. Al realizar la evaluación económica de la compra de un

compresor de tornillo se obtiene que es factible realizar la inversión y la misma se recupera en el intervalo de 2 a 3 años.

RECOMENDACIONES.

- Capacitar a la Dirección de la Empresa en las Responsabilidades de la Dirección para la eficiente gestión de la Energía y al personal técnico responsable directamente con el uso significativo del portador energético de mayor consumo.
- Recopilar sistemáticamente datos como: consumos eléctricos diarios, producción almacenada, m³ ocupados por los productos en cámaras y tarifas eléctricas para facilitar posteriores estudios.
- Continuar el estudio de aplicación de la norma ISO 50001.2019 para la implementación en la Empresa de un Sistema de Gestión de Energía.
- Utilizar como herramientas para el control de la energía los Indicadores de Desempeño Energéticos.
- Poner en práctica las medidas identificadas como oportunidades de mejoras referentes a control operacional, prácticas operacionales y parámetros del proceso.
- Realizar la compra del compresor de tornillo propuesto, pues demostró ser una inversión viable y que se recupera en un corto periodo de tiempo inferior a los 3 años.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta Cuenca, H. A. (2011). *Mejoramiento de la eficiencia electroenergética en la Empresa Nacional de Frigoríficos Enfrigo Ciencias Holguín (Vol. XVII, pp. 1-16).***
- Arboleda Arias, O. D. (2019). *Diseño e implementación de sistema de congelación para hielo industrial en escama con refrigerante amoníaco para industria hielera., Universidad Politécnica Salesiana Guayaquil, Ecuador.***
- Arocas, M., Coria Hoffman, G., & Bosc, C. (2019). *Identificación de indicadores energéticos para el diseño de un programa de ahorro y eficiencia energética en una instalación hospitalaria. .***
- Campos, J. C. (2017). *Línea base, Indicadores de desempeño energético.***
- Cañizares, G., Cuevas Hernández, M., Pérez Bermúdez, R., A., & González-Suárez, E. (2015). *Diseño e integración del sistema de gestión de la energía al sistema de gestión de la calidad en la ronera central "Agustín Rodríguez Mena". ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar.***
- Carretero, A., & García, J. M. (2012). *Gestión de la eficiencia energética: Cálculo del consumo, indicadores y mejora. Asociación Española de Normalización y Certificación, AENOR ediciones.***
- Castrillón, R., Quispe, E., González, A., Urhan, M., & Fandiño, D. (2014). *Metodología para la implementación del sistema de gestión Integral de la energía: Fundamentos y casos prácticos.***
- Cengel, & Boles. (1994). *Termodinámica (Vol. I).***
- Dovendra Puran, R. (2008). *Estudio Energético del Frigorífico Agropecuario de Cienfuegos. (Trabajo de diploma), Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.***
- Enerdata. (2022). *Tendencias Energéticas Mundiales.***
- González de la Cruz, R., & González, R. (2006). *Metodología para la evaluación de sistemas de refrigeración industrial.***
- González Jiménez, M. P. (2012). *Análisis técnico a capacidades y necesidades de reemplazo de equipos que utilizan al amoníaco como refrigerante***

enfocado a una industria alimenticia (Tesis de Grado), Escuela Superior Politécnica del Litoral Guayaquil, Ecuador.

Lápido Rodríguez, M. (2012). La gestión energética y la competitividad empresarial.

Marquez, Y. V. (2020). Desarrollo de la etapa de planeación para la implementación de un sistema de gestión energética en AVINSA S.A.S. basado en la Norma ISO: 50001., Universidad Autónoma de Bucaramanga.

OCDE/AIE. (2015). Indicadores de Eficiencia Energética: Bases Esenciales para el Establecimiento de Políticas.

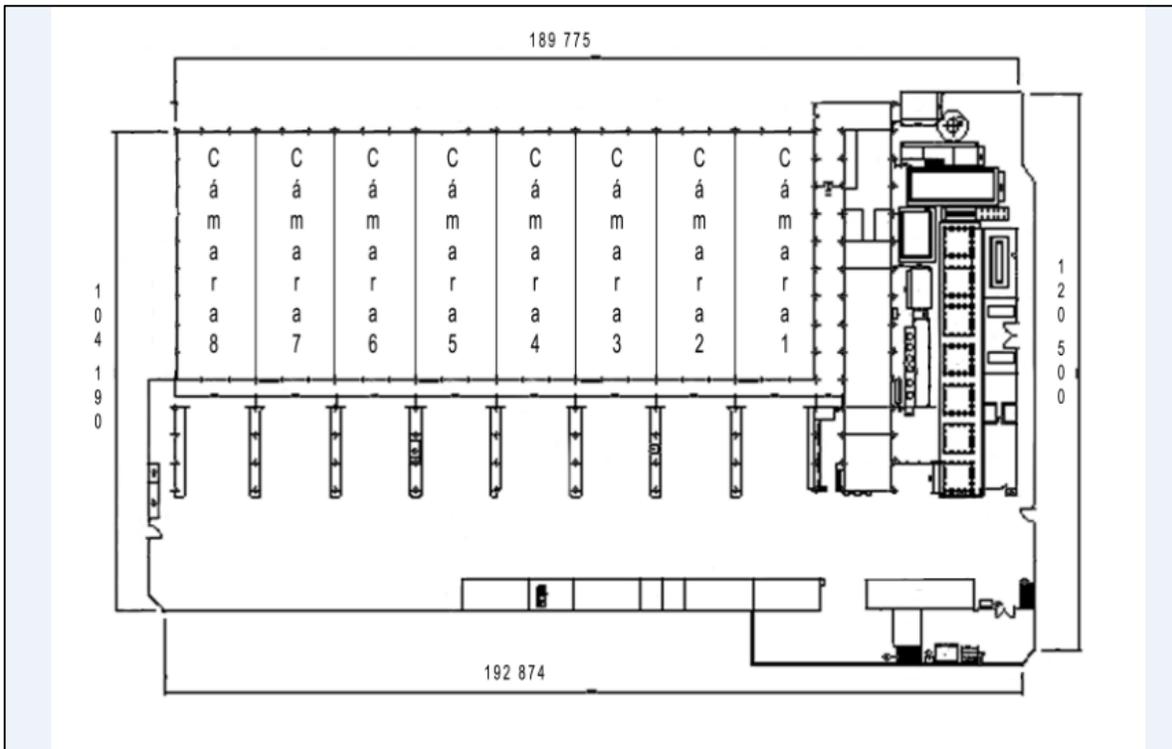
Salazar Aragón, C. (2012). La eficiencia energética como herramienta de gestión de costos: Una aplicación para la identificación de inversiones en eficiencia energética, su evaluación económica y de riesgo. . Universidad Federal de Itajubá-IEPG., Brasil.

Savalza Vaca, J. L. (2018). Elaboración Del Plan De Gestión Energética Para El Frigorífico Rio Frio S.A.S. Empresa Dedicada Al Beneficio, Conservación, Industrialización Y Comercialización De Ganado Bovino Y Bufalino Basada En La NTC-ISO 50001., Universidad autónoma de Bucaramanga.

Serrano Parra, J. A. (2019). Desarrollo de la etapa de planificación de un Sistema de Gestión Energética en base a la norma Iso-50001: 2011, mediante la empresa AGL Ingeniería Ltda. Quién presta servicio a la planta del Centro Logístico de Frío (Celfrío SAS). Universidad Autónoma de Bucaramanga.

ANEXOS

Anexo 1. Vista superior de la Filial Frigorífico Cienfuegos



Anexo 2. Temperatura y humedad relativa para el almacenamiento y conservación de productos.

Grupo	Productos	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Tiempo de Alm. (Días)
Granos	Granos Importados	10-12	70-75	365
	Granos Producción Nacional	10-12	70-75	180-200
Papa	Papa Consumo	4-6	85-90	120-180
	Papa Industria	10-12	60-65	120-180
	Papa Semilla	2-4	85-90	180-240

	Papa Experimento	2-4	85-90	180-240
Harina	Harina de Trigo Importada	12-14	70-75	120-180
	Harina de Trigo Nacional	12-14	70-75	120
	Harina de Trigo Integral	12-14	70-75	90
	Harina de Maíz	12-14	70-75	90
	Sémola	4 -6	70-75	180
	Almidón comestible o maicena	15-17	60-65	180-240
Leche	Leche Entera en polvo	15-17	70-75	240
	Leche Descremada en polvo	15-17	70-75	240
	Leche Desnatada	15-17	70-75	180
	Leche Entera Fortificada	15-17	70-75	240
Lácteos	Cocoa	15-17	70-75	240
Grasa	Grasa Vegetal Hidrogenada	15 a17	80-85	300
Hortalizas	Col	0 a 2	95-100	45-60
	Zanahoria	0 a 2	95-100	60-90
	Remolacha	0 a 2	90-95	60-90
Conservas	Pulpa de Mango	-10 a -12	70-75	90
	Pulpa de Guayaba	-10 a -12	70-75	90
	Pulpa de Fruta bomba	-10 a -12	70-75	90
	Mermelada de Mango	-10 a -12	70-75	90
	Mermelada de Guayaba	-10 a -12	70-75	90
	Mermelada de Fruta bomba	-10 a -12	70-75	90
	Puré de Tomate	-10 a -12	70-75	90
	Jugo de Mango	0 a 2	80-85	300-360
	Jugo de Naranja	0 a 2	80-85	300-360
	Jugo de Mandarina	0 a 2	80-85	300-360

	Jugo de Guayaba	0 a 2	80-85	300-360
	Jugo de Piña	0 a 2	80-85	300-360
	Pasta de Tomate	-10 a -12	70-75	90
	Concentrado de Naranja	-10 a -12	70-75	90
	Concentrado de Piña	-10 a -12	70-75	90
	Concentrado de Mango	-12 a -10	70-75	90
	Concentrado de Guayaba	-10 a -12	70-75	90
	Concentrado de Tomate	-10 a -12	70-75	90
Cítricos	Naranja consumo	5 a 7	85-90	30-40
	Naranja Exportación	3 a 5	85-90	15-20
	Toronja consumo	10 a 12	85-90	30-40
	Toronja Exportación	12 a 14	85-90	15-20
	Mandarina consumo	5 a 7	85-90	30-35
	Mandarina Exportación	5 a 7	85-90	10-15

Anexo 3. Datos económicos 2018

Año 2018	Consumo Eléctrico (MWh)	Costo Electricidad (CUP)	Ingresos Totales (CUP)	Impuestos Totales (CUP)	Ganancias Netas de la Empresa (CUP)	Capacidad Ocupada en Cámaras (t)
Enero	91,62	15.950,90	139.832,88	94.475,82	45.357,06	2.899.437,00
Febrero	80,13	15.615,56	128.421,09	86.882,69	41.538,40	2.565.618,00
Marzo	71,14	15.581,17	141.396,30	103.299,40	38.096,90	2.364.895,00
Abril	115,25	18.534,95	147.159,84	104.024,02	43.135,82	4.095.439,00
Mayo	118,84	20.324,88	152.583,59	114.809,52	37.774,07	3.928.782,00
Junio	115,37	20.169,00	146.232,32	113.069,43	33.162,89	3.764.019,00
Julio	118,43	21.252,54	144.224,39	101.233,50	42.990,89	3.346.439,00
Agosto	120,51	21.252,54	142.196,77	113.412,50	28.784,27	3.337.291,00
Septiembre	106,51	19.132,02	140.377,88	113.573,88	26.804,00	3.153.285,00
Octubre	108,74	19.390,06	145.294,64	97.821,04	47.473,60	2.968.264,00
Noviembre	85,46	16.328,40	141.113,19	95.206,49	45.906,70	2.811.794,00
Diciembre	98,65	17.513,39	143.252,93	76.586,05	66.666,88	2.504.809,00
Total Anual	1.230,63	221.045,41	1.712.085,82	1.214.394,34	497.691,48	
Equivalente USD			71.336,91 €	50.599,76 €	20.737,15 €	

Anexo 4. Datos económicos 2019

Año 2019	Consumo Eléctrico (MWh)	Costo Electricidad (CUP)	Ingresos Totales (CUP)	Impuestos Totales (CUP)	Ganancias Netas de la Empresa (CUP)	Volumen de Ocupación en Cámaras (t)
Enero	65,59	12.873,95	143.838,60	86.566,11	57.272,49	2.530.324,00
Febrero	81,45	14.919,09	119.690,46	78.699,84	40.990,62	2.315.879,00
Marzo	101,10	17.631,22	145.957,57	102.147,73	43.809,84	3.522.568,00
Abril	101,95	18.077,90	148.443,59	81.803,81	66.639,78	3.358.465,00
Mayo	121,90	20.537,33	148.173,21	95.454,71	52.718,50	3.405.837,00
Junio	120,95	20.053,08	142.766,13	111.953,94	30.812,19	3.320.037,00
Julio	105,27	19.112,73	145.246,21	100.064,42	45.181,79	3.351.911,00
Agosto	116,92	20.198,56	146.005,97	85.462,47	60.543,50	3.260.442,00
Septiembre	113,25	19.942,73	143.131,53	97.495,07	45.636,46	2.983.578,00
Octubre	107,58	18.828,78	149.034,88	96.736,16	52.298,72	2.633.378,00
Noviembre	92,16	16.341,97	143.630,44	95.359,93	48.270,51	2.619.168,00
Diciembre	78,80	15.014,56	151.254,48	85.587,49	65.666,99	2.120.153,00
Total Anual	1.206,92	213.531,90	1.727.173,07	1.117.331,68	609.841,39	

Anexo 5. Datos compresor de tornillo MAYEKAWA MYCOM Modelo-400 SUD

5.1 Datos del fabricante

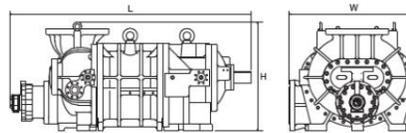
Rendimiento															
Refrigerante		Amoniaco				Propano				R404A				R134a	
Condición de temperatura		-40/+35°C • -40/+95°F		-40/-10°C • -40/+14°F		-10/+35°C • +14/+95°F		-10/+35°C • +14/+95°F		-40/+35°C • -40/+95°F 400LL @ -40/+30°C 400LL @ -40/+86°F		0/+40°C • +32/+104°F 400LL @ 0/+30°C 400LL @ +32/+86°F		+2/+42°C • +36/+108°F	
Modelo		Subenfriamiento líquido: 5°C/9°F Sobrecalentamiento de succión: 0°C/0°F Velocidad de rotación: 2950rpm Tipo Economizer		Subenfriamiento líquido: 5°C/9°F Sobrecalentamiento de succión: 0°C/0°F Velocidad de rotación: 2950rpm		Subenfriamiento líquido: 5°C/9°F Sobrecalentamiento de succión: 0°C/0°F Velocidad de rotación: 2950rpm		Subenfriamiento líquido: 5°C/9°F Sobrecalentamiento de succión: 10°C/0°F Velocidad de rotación: 2950rpm		Subenfriamiento líquido: 5°C/9°F Sobrecalentamiento de succión: 25°C/0°F Velocidad de rotación: 2950rpm Tipo Economizer		Subenfriamiento líquido: 5°C/9°F Sobrecalentamiento de succión: 25°C/0°F Velocidad de rotación: 2950rpm		Subenfriamiento líquido: 5°C/9°F Sobrecalentamiento de succión: 25°C/0°F Velocidad de rotación: 2950rpm	
125SUD/G	Capacidad de enfriamiento	9.6RT	33.9kW	—	—	35.8RT	125.9kW	28.9RT	101.7kW	11.5RT	40.6kW	43.9RT	154.5kW	28.7RT	100.9kW
	Potencia de motor	33.9HP	25.3kW	—	—	47.3HP	35.3kW	43.6HP	32.5kW	46.1HP	34.4kW	63.0HP	47.0kW	35.7HP	26.6kW
125LUD/G	Capacidad de enfriamiento	14.5RT	51.0kW	—	—	53.5RT	188.1kW	43.1RT	151.7kW	17.0RT	59.9kW	65.5RT	230.4kW	43.6RT	153.3kW
	Potencia de motor	49.5HP	36.9kW	—	—	69.1HP	51.5kW	63.4HP	47.3kW	66.9HP	49.9kW	91.9HP	68.5kW	53.5HP	39.9kW
400SUD	Capacidad de enfriamiento	345.2RT	1214.2kW	391.9RT	1378.3kW	1230.9RT	4329.6kW	991.8RT	3488.5kW	396.0RT	1392.9kW	1503.3RT	5287.6kW	1010.4RT	3553.9kW
	Potencia de motor	1104.7HP	823.8kW	432.9HP	322.8kW	1541.3HP	1149.4kW	1417.4HP	1057.0kW	1481.3HP	1104.6kW	2050.4HP	1529.0kW	1205.6HP	899.0kW
400MUD	Capacidad de enfriamiento	431.4RT	1517.3kW	492.3RT	1731.5kW	1546.3RT	5438.9kW	1245.9RT	4382.3kW	490.3RT	1724.7kW	1888.4RT	6642.4kW	1269.2RT	4464.3kW
	Potencia de motor	1383.9HP	1032.0kW	543.8HP	405.5kW	1936.3HP	1443.9kW	1780.6HP	1327.8kW	1850.7HP	1380.1kW	2575.7HP	1920.7kW	1514.4HP	1129.3kW
	Capacidad de enfriamiento	512.6RT	1803.0kW	586.6RT	2063.2kW	1842.5RT	6480.9kW	1484.6RT	5222.0kW	580.2RT	2040.7kW	2250.2RT	7915.0kW	1512.4RT	5319.9kW

5.2 Especificaciones del fabricante

Especificaciones									
Especificación		Modelo		125		400			
		SUD	LUD	SUD	MUD	LUD	LLUD	XLUD	
Refrigerante		Amoniaco / Propano, propileno / HFCs							
Flujo volumétrico	2950rpm	CFM	116	174	3814	4791	5709	6769	7593
	3550rpm	CFM	139	210	4591	5768	6886	8122	9182
Flujo volumétrico	2950rpm	m³/h	197	295	6480	8140	9700	11500	12900
	3550rpm	m³/h	237	356	7800	9800	11700	13800	15600
Velocidad de rotación mín.	rpm	1450		1450					
Velocidad de rotación máx.	rpm	4500		3600					
Dirección de rotación		CCW							
Control de capacidad	%	30-100							
Puerto de entrada de gas		MYCOM 100A			ANSI#300 16"				
Puerto de salida de gas		MYCOM 65CD			ANSI#300 12"				

5.3 Dimensiones

Dimensiones



Modelo	Peso	Ancho	Largo	Alto
125SUD	441lb/200kg	16"/404mm	33"/846mm	15"/386mm
125LUD	485lb/220kg	16"/404mm	36"/916mm	15"/386mm
400SUD	11707lb/5310kg	51"/1290mm	83"/2109mm	44"/1120mm

Anexo 6. Compresor recíprocante de Amoniaco AU400

6.1 Vista frontal



6.2 Vista Lateral



6.3 Datos del fabricante



Anexo 7. Cálculo para la sustitución de los compresores recíprocos por uno de tornillo.

N°	Datos iniciales	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
1	Ingresos (I), \$		71.336,91	71.336,91	71.336,91	71.336,91	71.336,91	71.336,91	71.336,91	71.336,91	71.336,91	71.336,91
2	Gastos (G), \$		50.599,76	50.599,76	50.599,76	50.599,76	50.599,76	50.599,76	50.599,76	50.599,76	50.599,76	50.599,76
3	Costo inversión (K ₀)	-26.484,60										
4	Tasa de descuento (r), %		16,35	16,35	16,35	16,35	16,35	16,35	16,35	16,35	16,35	16,35
5	Tasa de inflación (f), %		7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
6	Margen de riego, %		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
7	Tasa de impuesto (t), %		35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
8	Vida útil estimada, años		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Resultados												
9	Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	Depreciación (Dep), \$		2648,46	2648,46	2648,46	2648,46	2648,46	2648,46	2648,46	2648,46	2648,46	2648,46
11	Flujo de caja (Fc), \$		14406,11	14406,11	14406,11	14406,11	14406,11	14406,11	14406,11	14406,11	14406,11	14406,11
12	Tasa de descuento real (R)		0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
13	Tasa de descuento real con margen (D)		0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
14	Factor de descuento (Fdesc.)		0,89	0,80	0,72	0,64	0,57	0,51	0,46	0,41	0,37	0,33
15	Flujo de caja descontado (Fd), \$		12892,72	11538,31	10326,19	9241,41	8270,58	7401,74	6624,17	5928,29	5305,51	4748,16
16	Flujo descontado acumulado (Fda).VPN,	-26.484,60	-13591,88	-2053,57	8272,62	17514,03	25784,61	33186,35	39810,52	45738,81	51044,33	55792,49
17	TIR		33%									