



**Universidad de Matanzas**  
**Facultad de Ciencias Técnicas**



**Matriz de mantenimiento en el mejoramiento del índice del  
desempeño energético en las calderas de la tecnología  
HYUNDAI HIMSEN 2.5 MW.**

**Tesis Presentada como Requisito Parcial  
para la Obtención del Título de  
Máster en Tecnología Energética**

**Autor: Ing. Lázaro de la Rosa Ferrer.**

**Tutor: Dr. C. Roberto Vizcón Toledo**

**Matanzas, 2025**

## **DECLARACIÓN DE AUTORIDAD Y NOTA LEGAL.**

**Yo, Lázaro de la Rosa Ferrer, declaro que soy el único autor de la siguiente tesis, titulada Matriz de mantenimiento en el mejoramiento del índice del desempeño energético en las calderas de la tecnología HYUNDAI HIMSEN 2.5 MW. y, en virtud de tal, cedo el derecho de copia de la misma a la Universidad de Matanzas, bajo la licencia *Creative Commons* de tipo Reconocimiento No Comercial Sin Obra Derivada, con lo cual se permite su copia y distribución por cualquier medio siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores, no haga uso comercial de la obra y no realice ninguna modificación de ella.**

**Matanzas, 12 de abril de 2025.**

**Lázaro de la Rosa Ferrer**

## PENSAMIENTO

**En la tierra hacen falta personas que trabajen más y critiquen menos; que construyan más y destruyan menos; que prometan menos y resuelvan más; que digan mejor ahora que mañana.**

**Ernesto Che Guevara**

# DEDICATORIA

A mis queridos familiares y amigos, quienes con su amor incondicional y apoyo constante han sido mi mayor fuente de inspiración. A mis profesores y mentores, por compartir su sabiduría y guiarme en este camino de aprendizaje. A todos aquellos que, de una u otra forma, han contribuido a este proyecto; su aliento y confianza han sido fundamentales en cada paso de este viaje. Esta tesis es un reflejo de nuestro esfuerzo compartido.

**Resumen.**

El presente trabajo se propone como guía para la implementación de una matriz de mantenimiento, ajustable a las necesidades específicas de las calderas, integrando criterios de confiabilidad y seguridad. A través de un análisis detallado de los diferentes enfoques de mantenimiento, su impacto en el índice de desempeño energético, la identificación de las mejores prácticas en la industria, se propondrá un modelo que no solo abarque el mantenimiento preventivo y correctivo, incorporando estrategias, utilizando herramientas tecnológicas emergentes. Al finalizar este estudio, se espera contribuir al desarrollo de un marco teórico – práctico, que sirva como guía para la implementación en sistema de mantenimiento.

**Palabras claves.**

Matriz de Mantenimiento, Índice del desempeño energético confiabilidad, seguridad.

**Abstracts.**

The present work intends like guide for the implementation of a maintenance womb, adjustable to the specific necessities of the boilers, integrating approaches of dependability and security. Through a detailed analysis of the different maintenance focuses, their impact in the index of energy acting, the identification of the best practices in the industry, will intend a model that not alone it embraces the preventive maintenance and corrective, incorporating strategies, using emergent technological tools. When concluding this study, it is hoped to contribute to the development of a -practical theoretical mark that serves like guide for the implementation in maintenance system.

Key words.

Womb of Maintenance, Index of the acting energy dependability, security.

## Tabla de contenido

<b>Introducción.</b> ....	8
<b>Capítulo 1 Revisión Bibliográfica</b> .....	12
1.1 Panorama energético mundial. ....	12
1.2 Situación Energética en Cuba. ....	14
1.3 Estrategia para la transición energética en Cuba. ....	14
1.3.1 Importancia de la implementación de la estrategia para la transición energética en Cuba. ....	14
1.3.2 Principales acciones para reducir la máxima demanda del Sistema Eléctrico Nacional (SEN): .....	16
1.4 Generación distribuida en Cuba. ....	17
1.4.1 Ventajas de la generación distribuida. ....	18
1.5 Eficiencia energética. Algunos conceptos básicos. ....	19
1.5.1 Indicadores de Desempeño Energético (IDEn). ....	21
1.6 Mantenimiento. ....	22
1.6.1 Tipos de Mantenimiento. ....	24
1.6.2 Objetivos del Mantenimiento. ....	25
1.6.3 Ventajas en el mantenimiento industrial. ....	25
1.6.4 Pérdidas por falta de mantenimiento preventivo. ....	25
1.7 (IDEn.) para medir la efectividad de la matriz de mantenimiento. ....	26
1.8 Algunos aspectos de la eficiencia energética y el mantenimiento. ....	27
1.9 La caldera ígneo tubular. ....	28
1.9.1 Características de las Calderas Ígneo Tubulares. ....	28
1.9.2 Métodos para Calcular los Índices de Desempeño Energético (IDEn). ....	28
1.10 Conclusiones parciales del capítulo .....	<b>29</b>
<b>Capítulo 2. Materiales y Métodos.</b> .....	30
2.1 Características del Área de Estudio. ....	31
2.2 Descripción y funcionamiento del emplazamiento. ....	32
2.3 Generador de vapor o caldera. ....	33
2.3.1 Factores que influyen en el cuidado de las calderas acuotubulares .....	33
2.3.2 Problemas comunes en calderas. ....	34
2.3.2.1 Problemas que afectan la CE José Martí. ....	35
2.4 Barreras y oportunidades de una matriz de mantenimiento en calderas. ....	35
2.5 La matriz de mantenimiento para calderas. ....	36

<b>2.6 Modelo de propuesta de matriz mantenimiento.....</b>	<b>38</b>
<b>2.7 Inspección técnica a las calderas.....</b>	<b>39</b>
<b>2.8 Estudio de Gases realizado en la CE José Martí. ....</b>	<b>41</b>
<b>2.9 Análisis Económico del comportamiento del consumo de combustible y generación. ....</b>	<b>44</b>
<b>2.10 Conclusiones parciales del capítulo. ....</b>	<b>46</b>
<b>3 Capítulo 3 Análisis de los Resultados. ....</b>	<b>47</b>
<b>3.1 Tabla Comparativa de Índices de Desempeño Energético: Fuel oil vs. Diésel en motores de la tecnología HYUNDAI HIMSEN 2.5 MW.....</b>	<b>48</b>
<b>3.2 Resultados antes de usar la matriz y los esperados una vez implantada la misma. ....</b>	<b>50</b>
<b>3.3 Tabla comparativa con los IDEn) para el mantenimiento planificado vs a la matriz de mantenimiento. ....</b>	<b>53</b>
<b>3.4 Propuesta de Matriz Mantenimiento de la caldera Acuotubular de los motores.</b>	
<b>3.5 Inspección técnica a las calderas de la CE José Martí. ....</b>	<b>59</b>
<b>3.6 Estudio de Gases realizado en la CE José Martí. ....</b>	<b>66</b>
<b>3.7 Análisis Económico del comportamiento del consumo de combustible y generación. ....</b>	<b>67</b>
<b>3.8 Conclusiones parciales del Capítulo.....</b>	<b>72</b>
<b>4 Conclusiones. ....</b>	<b>72</b>
<b>5. Recomendaciones.....</b>	<b>74</b>
<b>6. Bibliografías.....</b>	<b>74</b>
<b>7. Anexos.....</b>	<b>77</b>

## **Introducción.**

La matriz de mantenimiento, como herramienta de gestión y planificación, ha evolucionado a lo largo del tiempo, en respuesta a la necesidad de optimizar el mantenimiento de equipos e instalaciones en diversas industrias. Aunque no hay un punto específico en la historia que marque su "nacimiento", se pueden identificar algunos hitos clave en su desarrollo. Sus orígenes y evolución datan de la Revolución Industrial (siglo XVIII – XIX). Con el auge de la industrialización, surgió la necesidad de mantener maquinaria compleja y costosa. Las primeras formas de mantenimiento estaban más centradas en la reparación reactiva, es decir, reparar equipos solo después de que fallaban. Desarrollo del Mantenimiento Preventivo (mediados del siglo XX) A medida que las industrias crecieron y la tecnología avanzó, se comenzó a implementar el mantenimiento preventivo para reducir el tiempo de inactividad. Durante este período, las empresas comenzaron a documentar y sistematizar las tareas de mantenimiento. Años 1960-1970. La introducción de conceptos como el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) y la implementación de sistemas computarizados para la gestión del mantenimiento llevaron a una mayor formalización y estructuración del mantenimiento, incluyendo el desarrollo de matrices para planificar y priorizar tareas. Años 1980-1990, la adopción de metodologías como Total Productive Maintenance (TPM), promovió un enfoque más integral al mantenimiento, considerando no solo la maquinaria, sino también la participación de los empleados en el proceso. Durante este tiempo, las matrices de mantenimiento se volvieron más comunes como herramientas para gestionar las actividades de mantenimiento. Era Digital (siglo XXI) Con la llegada de nuevas tecnologías, como el Internet de las Cosas (IoT) y el análisis de datos, las matrices de mantenimiento han evolucionado hacia plataformas digitales, que permiten un monitoreo y análisis en tiempo real. Esto facilita la implementación de mantenimiento predictivo y mejora la toma de decisiones. Hoy en día, la matriz de mantenimiento se utiliza en una variedad de sectores, incluidos manufactura, energía, transporte, salud y más. Se ha convertido en una herramienta esencial para gestionar el ciclo de vida del equipo, optimizar recursos y garantizar la seguridad y eficiencia operativa.

La Matriz de mantenimiento es la herramienta utilizada en la gestión del mantenimiento de equipos y maquinarias. Consiste en una tabla que organiza y clasifica los diferentes equipos o activos, según su importancia y frecuencia de mantenimiento. En la matriz de mantenimiento se suelen establecer diferentes categorías o niveles de prioridad como, por ejemplo: crítico, importante y rutinario. Cada equipo se ubica en una de estas categorías en función de su importancia para la operación del negocio y la frecuencia con la que requiere mantenimiento. Esta matriz ayuda a priorizar las tareas de mantenimiento, asignando más recursos y atención a los equipos más críticos o importantes. Además, permite planificar y programar las actividades de mantenimiento de manera más eficiente, optimizando los recursos disponibles y reduciendo los tiempos de inactividad no planificados.

El trabajo se realizará a las calderas de la tecnología HYUNDAI HIMSEN 2.5 MW, que se encuentra certificada por la ISO 9001- ISO 45001- ISO 14001- ISO 50001 – 2018, con la utilización de herramientas y tecnologías de puntas y estrecha vinculación con los fabricantes. Las normas ISO 17359:2018 -Monitoreo de la condición y diagnóstico de máquinas y ISO 14224:2016 -Categorías de mantenimiento están estrechamente relacionadas con las matrices de mantenimiento y se utiliza el monitoreo de la condición termodinámica de equipo mediante los índices del desempeño energético.

Situación problema. Existen deficiencias en el manejo del mantenimiento de las calderas por diferentes razones. Lo que afecta la rentabilidad de la empresa, con un impacto ambiental negativo.

Problema científico.

¿Cómo influye la implementación de una matriz de mantenimiento, no argumentada en los documentos del sistema integrado de gestión, en la mejora del índice de desempeño energético, en las calderas de la tecnología HYUNDAI HIMSEN 2.5 MW?

Hipótesis: Si se implementa una efectiva matriz de mantenimiento, que impacte en el índice de desempeño energético, explorando las mejores prácticas y estrategias, contribuirá al uso eficiente de la energía, de nuestra organización.

Objeto de estudio: Calderas de la tecnología HYUNDAI HIMSEN 2.5 MW?

Alcances.

El estudio será realizado en el área de calderas.

Objetivo general.

Investigar la relación entre la implementación de una matriz de mantenimiento y su impacto en el índice de desempeño energético, con el fin de desarrollar un modelo que promueva la eficiencia energética, a través de estrategias de mantenimiento adecuadas.

Objetivos específicos.

1. Analizar el estado actual de las matrices de mantenimiento en diferentes organizaciones y determinar en qué medida está alineadas con las mejores prácticas de gestión energética.
2. Evaluar el impacto de las diferentes estrategias de mantenimiento (preventivo, predictivo y correctivo) en el comportamiento del índice de desempeño energético de los equipos y sistemas utilizados por las organizaciones.
3. Identificar las barreras y oportunidades que enfrentan las calderas al implementar una matriz de mantenimiento, orientada a la eficiencia energética.
4. Proponer un modelo de integración entre la matriz de mantenimiento y el índice de desempeño energético, que sirva como guía para la toma de decisiones.
5. Desarrollar un conjunto de indicadores de desempeño energético, que permitan medir la efectividad de su matriz de mantenimiento, en relación con el uso energético, facilitando así la monitorización y mejora continua.

Limitaciones.

Ausencia de información secundaria de años anteriores disponible en la CE, que pertenecía a la CTE Antonio Guiteras, que serviría para análisis de comportamiento del funcionamiento de las calderas.

### **Métodos.**

Métodos de nivel Teórico: Análisis-síntesis: Para procesar la información teórica y empírica obtenida, fundamentar el problema planteado y valorar la mejor alternativa de solución. El histórico lógico: Para el análisis de la evolución del problema. El hipotético-deductivo: Para enfocar el problema científico mediante la verificación de la hipótesis.

#### Métodos Empíricos.

- La observación: Para conocer la realidad mediante la percepción directa del objeto y los fenómenos asociados al mismo. (La toma de datos)
- La medición: Para el esclarecimiento de los parámetros técnicos y propiedades relacionadas con el objeto.
- Consulta a expertos: Para tener en cuenta opiniones, criterios y sugerencias de otros especialistas, en la materia objeto de investigación.

Métodos estadísticos-matemáticos: Para estimar los valores y la tendencia de los índices de consumo a través de los años.

Método histórico y lógico: Se empleó para determinar las tendencias del proceso de actualización de los documentos establecidos, en el sistema integrado de gestión de la empresa y su actualización.

#### Métodos empíricos:

Método de medición: Se empleó para el establecimiento de la línea de base, es decir, para obtener información respecto a la existencia o no de potencialidades de actualización, con la aplicación del sistema de gestión. Se aplicaron para ello técnicas tales como, análisis documental y entrevista, cuyos resultados fueron procesados para arribar a las conclusiones presentadas.

Asociados a los métodos teóricos y prácticos se utilizaron los siguientes procedimientos:

1. **Análisis y síntesis:** Se utilizó en función de la descomposición del funcionamiento del objeto, en sus diversos componentes y el establecimiento de las relaciones entre ellos. Se pasó a investigar cada una de sus partes en su relación recíproca, identificando el lugar y la significación de cada una y como revelan la contradicción dialéctica, que surge en él y el modo de resolverlo. Una vez logrado esto, la síntesis se encarga de recomponer mentalmente la totalidad, teniendo ahora una visión clara de las leyes que rigen o gobiernan tal totalidad.

2. **Abstracción:** Fue utilizado para el análisis sobre las posibles determinantes y relaciones que se pueden crear, en la descomposición del objeto de estudio.

**Inducción – deducción:** Posibilitó la determinación de las generalidades y regularidades del proceso de gestión energética. Es importante analizar estos factores dentro del contexto específico de la industria o sector que se está evaluando para tener conclusiones precisas.

## **Capítulo 1 Revisión Bibliográfica**

### **1.1 Panorama energético mundial.**

#### **Introducción al capítulo.**

En el presente capítulo se realizó una búsqueda bibliográfica, consultando la literatura especializada a través de diversas fuentes, haciendo énfasis en los aportes académicos desarrollados, donde también incluyó artículos de revistas en Internet, lo cual contribuyó a desarrollar las bases teórico referenciales, centradas en el análisis de los diferentes procedimientos, para el diagnóstico y evaluación de la matriz de mantenimiento, como una herramienta de la eficiencia, el índice de desempeño energético. También se aborda la generación distribuida en Cuba, los generadores de vapor principales características, el mantenimiento y otros aspectos que consideramos importante para analizar este tema.

#### **Panorama energético mundial.**

La creciente demanda de la energía, utilizada para satisfacer necesidades para las sociedades, es uno de los principales problemas a nivel internacional en el sector energético, así mismo el agotamiento de los recursos energéticos no renovables y el cambio climático, estos son los retos que enfrenta el sector energético. Lo anterior exige, aplicar soluciones inmediatas para resolver estos desafíos, es por ello que las medidas de eficiencia energética, para promover el ahorro energético son elementos muy importantes, ya que permiten la reducción de la intensidad energética y de recursos, de una forma casi inmediata y a bajo costo. Hernández M.J.2019

Las estrategias que se implementan para mejorar la eficiencia energética a largo plazo son insuficientes, ya que no se está explotando todo el potencial que existe para aprovechar (Rodríguez. 2020).

Según Rodríguez. (2020) a pesar del panorama sombrío que se presenta, existen numerosas fuentes de ahorro de energía que, aplicándose correctamente permiten una mirada más optimista del futuro energético, como son:

- Utilización masiva de las fuentes renovables de energía.
- Mejoras en las tecnologías de uso final, tanto en el ambiente doméstico como en el industrial.
- Cambio de hábitos de consumo.
- Aumento de la transferencia de recursos a la investigación destinada al ahorro de energía.
- Integración de procesos térmicos. Cogeneración.
- Uso eficiente de la materia prima, incluyendo el reciclado, la eficiencia energética y menores emisiones.
- Empleo de la trigeneración.
- Empleo racional de la generación distribuida.

Seleccionar tecnologías y prácticas que minimicen el consumo de energía, como el uso de iluminación natural, también es importante. Medir y verificar los ahorros de energía logrados es esencial, para asegurar mejoras en la eficiencia energética. Implementar sistemas de medición y seguimiento, permite evaluar el consumo de energía y el impacto de las medidas adoptadas. Conocer las normativas y marcos de referencia sobre eficiencia energética, así como considerar la implementación de un Sistema de Gestión de Energía (SGE), maximizará los beneficios en la empresa. Aguilar Mejía, K. A., Anaya Hernández, J. A., & Peñate Ascencio, W.L. (2023).

## **1.2 Situación Energética en Cuba.**

Cuba como país subdesarrollado no escapa a la desfavorable situación energética mundial. Berdellans, López, Pérez y Ricardo (BERDELLANS, 2005) realizaron un estudio que abarca el período 2001 - 2025, en el cual se tomaron en consideración las proyecciones de población, elaboradas por el centro de estudios demográficos y las proyecciones de crecimiento económico, elaboradas por el Instituto de Investigaciones Económicas. La tasa de crecimiento anual promedio del Producto Interno Bruto (PIB) es del 4.13% basada en que se mantendrá el bloqueo de los Estados Unidos a nuestro país, lo cual influye negativamente en las inversiones. Estas se realizarán fundamentalmente en la minería, el turismo y el nivel principal de las exportaciones, se mantendrá con los productos tradicionales. (Mavinga, Ó. (2020).

## **1.3 Estrategia para la transición energética en Cuba.**

### **1.3.1 Importancia de la implementación de la estrategia para la transición energética en Cuba.**

Cuba cuenta con un enorme potencial de fuentes renovables de energía y grandes reservas de eficiencia energética, que debemos aprovechar con prioridad para disponer de forma sostenible y al menor costo posible, de toda la energía que demanda el desarrollo económico y social del país.

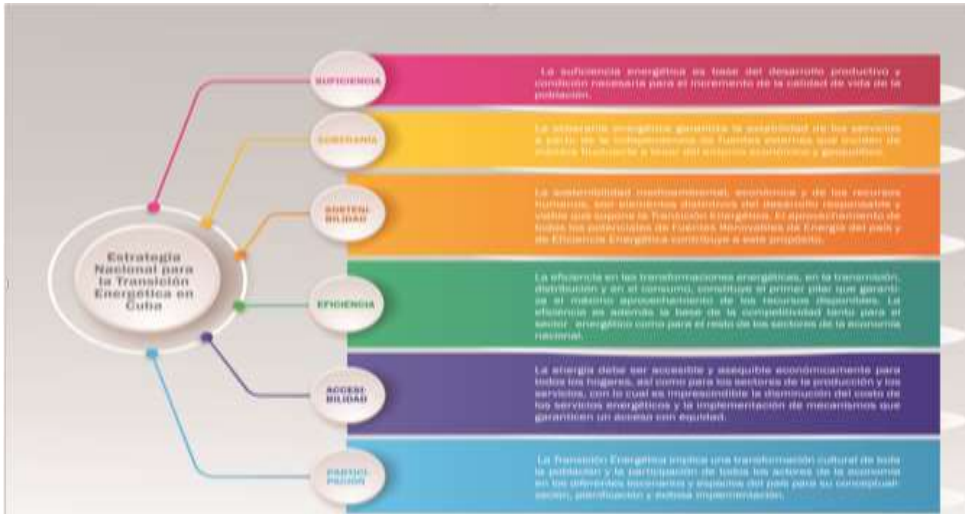
Para alcanzar este objetivo, contamos con la Estrategia Nacional para la Transición Energética de Cuba, la que concibe tres etapas: en la primera, cumplir en 2030 con

las metas programadas por el país, de alcanzar el 24 % de participación de las fuentes renovables de energía en la matriz de generación eléctrica; en la segunda, alcanzar en 2035 la independencia eléctrica (combustible nacional más fuentes renovables); y en la tercera, materializar en 2050, la visión del 100 % de generación con fuentes renovables.

Esta Estrategia se corresponde con los Objetivos de Desarrollo Sostenible y contribuirá significativamente al cumplimiento de nuestros compromisos nacionalmente determinados en materia de reducción de emisiones contaminantes y mitigación del cambio climático. (Folleto MINED 07092024)

La Transición Energética en Cuba se implementará por etapas en el corto, mediano y largo plazos. En los planes operativos de cada eje se incluyen, las acciones necesarias para el logro de los objetivos en cada horizonte temporal, la participación de los diferentes sectores de la economía, la sociedad y las sinergias y encadenamientos entre estos. Cada eje compatibiliza objetivos y metas con los programas y proyectos del Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social al 2030.

- Una vez aprobada la Estrategia Nacional, los resultados de los procesos de monitoreo y evaluación, serán publicados por el Ministerio de Energía y Minas.
- La Ley para la Transición Energética en Cuba, constituirá la norma jurídica de mayor rango, que dará soporte a las transformaciones previstas en la Estrategia Nacional.
- La Ley establecerá el marco de gobernanza de la Transición Energética, incluidos los instrumentos de planeación y control, tomando como base la intersectorialidad, el carácter multiactoral y multinivel de los procesos y la participación de toda la sociedad.
- Establecerá las obligaciones en materia de aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía y la Eficiencia Energética, de todas las personas jurídicas y naturales, establecidas en el territorio nacional, promoviendo la diversificación de actores en los procesos de producción y comercialización de energía, a partir de las Fuentes Renovables de Energía.



**Figura 1** Esquema de transición energética en Cuba. Fuente: Folleto para la Transición Energética de Cuba (2024).

La Estrategia Nacional para la Transición Energética de Cuba (2024), en el Eje 5 se plantea incentivar el uso racional de la energía y el aprovechamiento de todas las reservas de eficiencia energética, en la infraestructura de generación eléctrica y distribución, y en los espacios productivo y residencial, donde se centra el consumo.

### 1.3.2 Principales acciones para reducir la máxima demanda del Sistema Eléctrico Nacional (SEN):

- En el sector residencial, completar los programas de gasificación, de cocinas de inducción, de sustitución de luminarias por LED e instalación de calentadores de agua solar.
- En el sector no residencial, completar la sustitución del alumbrado público por LED, de calentadores eléctricos de agua por calentadores solares, de bombes eléctricos por bombeo solar, la generalización del uso del bombeo solar, entre otras y la reducción de las pérdidas.

Gestión y Eficiencia Energética.

Pronóstico de la máxima demanda en MW, del SEN vs máxima demanda con acciones de Eficiencia Energética (EE).

- Uso racional de la energía y aprovechamiento de las reservas de eficiencia energética.



**Figura 2** Gestión y Eficiencia Energética. **Fuente:** Folleto para la Transición Energética de Cuba (2024).

#### 1.4 Generación distribuida en Cuba.

Uno de los cambios conceptuales inherentes a la Revolución Energética, radica en el establecimiento de un nuevo esquema de generación eléctrica (La Generación Distribuida por todo el país); esta se basa en la instalación de baterías, dispersas a lo largo de todo el territorio nacional, y sincronizados al Sistema Electroenergético Nacional (SEN). Los equipos son de alta disponibilidad y fácil instalación, además tienen niveles de potencia unitaria inferiores a los de las termoeléctricas, por lo que, la salida de funcionamiento de alguno de ellos no crearía nunca una crisis.

La máxima dirección del Gobierno cubano había decidido para estos años utilizar de forma intensiva los GE, considerando las ventajas que hoy plantea este tipo de generación distribuida. Los GE diésel que se han instalado en el país, trabajan en régimen de emergencia, sin sincronización a la red, y en régimen de producción aislado o en baterías.

Los resultados en cuanto a la generación en el transcurso del tiempo han sido buenos, lo que no se descarta la situación económica hoy del país y la escasez de

piezas de repuesto para estos grupos, que ha dado el traste la reducción de los ciclos de mantenimientos y las constantes averías.

Las características de esta generación se prevén la disminución de las pérdidas eléctricas, así como la mejora sustancial de los costos. Lo anterior se evidencia al tener mejores índices de eficiencia energética, según las experiencias consultadas internacionalmente, en grupos electrógenos instalados en Santo Domingo y en Corea del Norte, y que fueron implantados posterior a Cuba, en Haití, Nicaragua, Venezuela, y aún en montaje en Ecuador, donde fueron adiestrados los técnicos y operadores de estos cuatro últimos, por especialistas cubanos basándose ya en el conocimiento adquirido. Martínez.2011.

#### **1.4.1 Ventajas de la generación distribuida.**

Según Rodríguez, A. R. (2020), el auge de los sistemas de GD se debe a los beneficios inherentes a la aplicación de esta tecnología, tanto para el usuario como para la red eléctrica. A continuación, se listan algunas de las ventajas para el usuario:

- Incremento en la confiabilidad.
- Aumento en la calidad de la energía.
- Reducción del número de interrupciones.
- Uso eficiente de la energía.
- Menor costo de la energía (en ambos casos, es decir, cuando se utilizan los vapores de desecho, o por el costo de la energía eléctrica en horas pico).
- Uso de energías renovables.
- Facilidad de adaptación a las condiciones del sitio.
- Disminución de emisiones contaminantes.

Las ventajas de la generación distribuida, conjuntamente con el actual avance tecnológico, hacen posible que la aplicación de esta forma de generación de energía eléctrica se extienda cada día más por todo el mundo, lo que corrobora que la generación distribuida es el marco perfecto para la utilización de las fuentes de energía renovables, siendo esta su principal tendencia, aunque también las fuentes tradicionales se insertan en esta modalidad de producir energía eléctrica.

### **1.5 Eficiencia energética. Algunos conceptos básicos.**

La Eficiencia Energética se puede definir como: “la reducción del consumo de energía manteniendo los mismos servicios energéticos, esto sin disminuir nuestra calidad de vida y confort, protegiendo el medio ambiente y fomentando un uso razonable de los recursos”. (Rodríguez, L. R. 2021).

Según Aguilar Mejía, K. A., Anaya Hernández, J. A., & Peñate Ascencio, W.L. (2023). Refieren a la capacidad de realizar las mismas actividades utilizando menos energía. En otras palabras, se trata de hacer más con menos energía. La eficiencia energética se puede aplicar en diferentes ámbitos, desde el hogar hasta la industria, y puede incluir desde medidas sencillas, como apagar las luces cuando no se utilizan, hasta tecnologías avanzadas para la gestión energética en grandes instalaciones. La eficiencia energética es un tema crítico actualmente por la creciente demanda de energía y su impacto en el medio ambiente. Implica el uso racional de la energía, minimizando el consumo de energía sin comprometer la calidad del trabajo o producto final. En la industria, la eficiencia energética se refiere a la optimización del uso de la energía, en la producción y en las operaciones diarias. Al mejorar la eficiencia energética en la industria, se pueden reducir los costos de energía, disminuir la huella de carbono, aumentar la competitividad y mejorar la imagen de la empresa en términos de responsabilidad social y ambiental. Torres. (2020). Lo resumió como la capacidad de obtener más resultados o beneficios con menos consumo de energía, es decir, es la relación entre la cantidad de energía útil obtenida o aprovechada para realizar una actividad o cumplir con un propósito específico y la cantidad total de energía consumida.

Los Grupos Electrógenos son una empresa que establece criterios y metas de producción, donde se definen indicadores económicos para evaluar su cumplimiento. Sin embargo, encerrarse en estos indicadores sin realizar cambios puede ser contraproducente. El principio de reacción en cadena sugiere que una reducción continua de errores puede conducir a costos más bajos, menor desperdicio de recursos y un aumento en la productividad. Por lo tanto, es importante identificar y eliminar las causas potenciales de ineficiencia energética,

para mejorar el proceso y reducir el consumo de portadores energéticos. Los indicadores clave de control son los índices de consumo físico, que relacionan la energía consumida con la producción o servicio realizado. (Díaz-Rosales et al. 2023).

La eficiencia energética de un grupo electrógeno, queda determinada por la eficiencia del motor en sí, la eficiencia de la caja de transmisión y la eficiencia del generador eléctrico, entre los cuales, el motor es el equipo de menor eficiencia.

El motor de un grupo electrógeno puede tener una eficiencia energética en torno a un 30%, en cambio el sistema de transmisión y el generador pueden tener eficiencias superiores al 95%; por lo tanto, la eficiencia energética del grupo electrógeno queda fuertemente determinada por la eficiencia del motor, ante lo cual, para que este equipo sea eficiente, sólo es posible adquirir equipos con tecnología de mayor eficiencia (para una misma potencia, siempre hay opciones menos eficientes y más eficientes).

Para lograr la eficiencia energética en la generación distribuida de fuel y el ahorro de portadores energéticos, es necesario establecer criterios y metas de producción con indicadores económicos y físicos, identificar y eliminar las causas potenciales de ineficiencia energética, mejorar la organización y disciplina tecnológica, y contar con la participación de los trabajadores. La dirección debe aplicar la ciencia y la técnica, aprovechar las tecnologías de avanzada, y transformar conceptos, enfoques, hábitos y métodos de atender este tema. (Díaz-Rosales et al. 2023).

Para cumplir con lo anterior se debe:

1. Optimización del Consumo: La eficiencia energética se refiere a la capacidad de un sistema para convertir la energía consumida en trabajo útil. En el caso de las calderas, esto implica maximizar la producción de vapor mientras se minimiza el consumo de combustible y la generación de residuos.
2. Impacto Ambiental: Mejorar la eficiencia energética no solo reduce costos operativos, sino que también disminuye las emisiones de gases contaminantes, contribuyendo a un entorno más sostenible.

3. Normativas y Certificaciones: La eficiencia energética es un criterio clave en muchas normativas y estándares industriales. Una caldera que opera eficientemente puede ayudar a una empresa a cumplir con requisitos regulatorios y obtener certificaciones ambientales.

En las calderas de la tecnología HYUNDAI HIMSEN 2.5 MW, su producción de vapor se emplea para precalentar el combustible y reducir su viscosidad, antes de su atomización a la cámara de combustión del motor, esto influirá en la eficiencia del grupo electrógeno y claro de la caldera recuperadora de calor, es decir la capacidad de precalentar el combustible para mejorar IDEn depende del estado técnico de la caldera acuotubular recuperadora de calor y demás componente del GE., como el motor, el generador eléctrico, etc.

#### **1.5.1 Indicadores de Desempeño Energético (IDEn).**

Desempeño energético: Resultados medibles relacionados con la eficiencia energética, el uso de la energía y el consumo de la energía.

Para determinar la mejora del desempeño energético se determinan indicadores (IDEn) que aseguran el seguimiento y control de los USE.

Un indicador de desempeño energético (IDEn) (Riverón Puga, 2017) es un valor cuantitativo, medible que refleja la eficiencia, el uso y el consumo de la energía del elemento donde se define, permite evaluar su cambio respecto a la línea de base y puede medirse y seguirse en el tiempo. Los IDEn son aquellos que se establecen con el fin de realizar un seguimiento, monitoreo y control del desempeño energético de determinado proceso, área o equipo.

Un IDEn es una -regla que se utiliza para comparar el desempeño energético antes (valor de referencia del IDEn) y después (valor resultante o actual del IDEn) de la implementación de planes de acción. La diferencia entre el valor de referencia y el valor resultante es la medida del cambio en el desempeño energético. Ver figura 1.

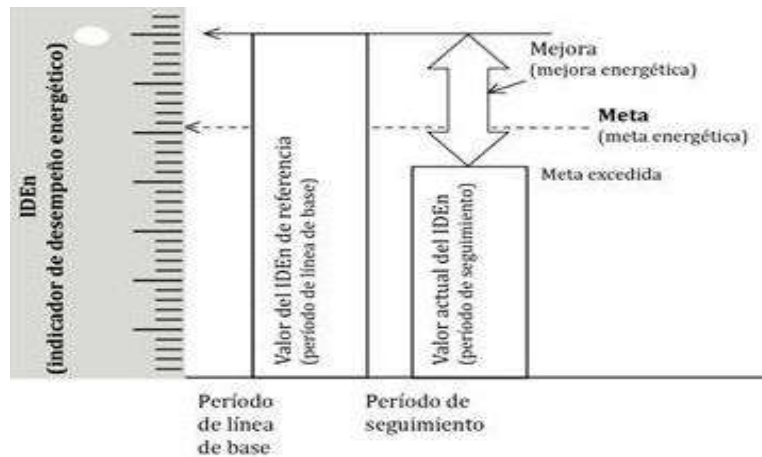


Figura 3. IDEn y Valores de IDEn. Fuente: Norma Internacional ISO 50001:2018.

El patrón donde se compararán los valores de IDEn es la línea de base energética que es establecida por la organización utilizando la información de la revisión energética tomando en cuenta un período adecuado de tiempo. La línea base permite describir el consumo de energía de un equipo, área o proceso con un nivel de confianza y precisión adecuada. (Pérez Cruz, V. A. 2020).

- Una línea de base energética referencia cuantitativa que proporciona la base para la comparación del desempeño energético (Norma Internacional ISO 50001:2018).
- La línea de base energética se fundamenta en los datos de un período de tiempo especificado y/o las condiciones, según lo defina la organización.
- Las líneas de base energéticas se usan para la determinación de la mejora del desempeño energético, como referencia antes y después, o con y sin la implementación de acciones de mejora del desempeño energético.

Una línea de base energética puede normalizarse utilizando variables que afecten al uso o al consumo de la energía, por ejemplo, nivel de producción, grados-día (temperatura exterior), etc.

### 1.6 Mantenimiento.

En el año 2016 a partir del VII Congreso del PCC, se presentan el Proyecto de Conceptualización del Modelo Económico y Social Cubano de Desarrollo Socialista

y el Proyecto Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta 2030, en el cual se aborda sobre el mantenimiento lo siguiente (PCC, 2016):

- Materializar un eficiente funcionamiento mediante el mantenimiento a los medios de producción.
- Planificar la actividad de mantenimiento para la disponibilidad de los equipos.
- Realizar el control, en especial de tipo preventivo para posibilitar la corrección de desviaciones, efectuar oportunamente los reajustes necesarios y la adopción de las medidas pertinentes.
- Recuperar, preservar, modernizar y ampliar en general la infraestructura.
- Estimular la participación de la inversión extranjera y nacional en el desarrollo y mantenimiento de la infraestructura del país.
- Fomentar el desarrollo de reparación y mantenimiento de forma tal que contribuya a la competitividad, la calidad y a la reducción de costos.

Esta nueva situación ha creado la necesidad de convertir las empresas cubanas en organizaciones flexibles, capaces de adaptarse a los constantes cambios, a partir del incremento de sus capacidades de respuesta a las nuevas condiciones del entorno. Muchos servicios de mantenimiento funcionan con resultados inciertos y a un costo resultante elevado, incluyendo no solo el dinero invertido, sino también, el esfuerzo del personal, horas extras realizadas en forma habitual, mayor cantidad de materiales y repuestos, en definitiva, la falta de objetivos estables, claros y conocidos encarece la gestión del área según Rodríguez Machado (2012), Velázquez Pérez (2014), De la Paz Martínez (2015), Llerena Morera (2016) y Sosa Martínez (2016).

Infortunadamente, la realidad es otra, con frecuencia ocurren averías imprevistas, los equipos instalados pierden su capacidad, no se cuenta con soporte de equipos de respaldo o un inventario lógico de partes en almacén, o con personal capacitado, bien dirigido y con procedimientos claros para atender los equipos. Todo esto lleva a pérdidas de la calidad requerida, deterioro, obsolescencia del equipo, baja

satisfacción del cliente, pérdida de ingresos, aumento de los gastos, disminución del valor del patrimonio. Por lo que el mantenimiento constituye una pieza clave para el correcto funcionamiento de la empresa (Stefano, 2006; García Garrido, 2009; Mora Gutiérrez, 2012; Rodríguez Díaz, 2014; Truong, 2017).

La combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión, realizadas durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o a devolverlo a un estado en el que pueda desempeñar la función requerida (UNE-EN 13306, 2018).

Algunas particularidades del mantenimiento hacen que este sea difícil de programar por la naturaleza de los fallos, que sus actividades tengan complejidad en la elaboración de estándares de trabajo y medición de tiempos, ya que inclusive las tareas que se realiza en el mantenimiento de un mismo equipo, pueden variar en función de variables pequeñas, que hacen necesaria la aplicación de nuevos métodos, con el consecuente cambio en el tiempo de trabajo, sin embargo estas características hacen que el mantenimiento requiera aún más importancia para gestionar la productividad de la empresa.

### **1.6.1 Tipos de Mantenimiento.**

La división clásica del mantenimiento indica dos divisiones principales según la norma española EN 13306: 2018.

- **Mantenimiento Preventivo:** Consiste en realizar inspecciones y tareas programadas para evitar fallos. Esto puede incluir limpieza de tubos, verificación de válvulas, y pruebas de presión.
- **Mantenimiento Predictivo:** Utiliza tecnologías como el análisis de vibraciones, termografía y monitoreo de condiciones para anticipar fallos antes de que ocurran.
- **Mantenimiento correctivo:** Mantenimiento realizado luego de haber reconocido la avería, con la finalidad que el equipo o maquina pueda realizar su función requerida, tomando acciones de reparar el o los elementos con falla.

### **1.6.2 Objetivos del Mantenimiento.**

Reducción de los costos de mantenimiento y del tiempo libre de trabajadores de mantenimiento y trabajadores generales, causados por paradas. Utilizar eficientemente los recursos para actividades de mantenimiento ya sean herramientas, mano de obra, a más de permitir una correcta coordinación del mismo, mejorando la posibilidad de supervisar las actividades planificadas.

Mejora la capacidad de cumplimiento de la empresa al conseguir un alto índice "Ip", el cuál es la razón entre: el volumen de producción práctica (en calidad y plazo) y la capacidad de producción teórica (Rey, F. 2002).

### **1.6.3 Ventajas en el mantenimiento industrial.**

- Productos de alta calidad con menor costo.
- Reducción de accidentes laborales, ocasionados por un mal estado y funcionamiento de los equipos.
- Clientes satisfechos con la entrega de mejores productos.
- Disminución de los gastos por paradas imprevistas de producción.
- Detección de fallas a tiempo, permitiendo establecer una correcta programación del plan de mantenimiento

### **1.6.4 Pérdidas por falta de mantenimiento preventivo.**

Paros de producción, incumpliendo tiempos de fabricación y entrega de producto.

- Averías imprevistas de los equipos.
- Desperdicio y daño en la materia prima.
- Productos defectuosos y de mala calidad.
- Accidentes laborales.

En resumen, el objetivo del generar una matriz de mantenimiento, es mantener o preservar un equipo, en condiciones seguras, durante un periodo de tiempo, para que se garantice un control y funcionamiento óptimo, bajo estándares establecidos, además de reducir costos de producción en caso una posible detención por falla.

### **1.7 (IDEn.) para medir la efectividad de la matriz de mantenimiento.**

Los IDEn relacionados a continuación corresponde a las calderas y motores, ya que ambos tienen estrecha relación en cuanto al servicio en la generación de energía.

1. Consumo energético por producción: Relación entre la energía consumida y la cantidad de productos o servicios generados. Permite evaluar la eficiencia energética de los procesos.

2. Eficiencia de equipos: Evaluación del rendimiento energético de equipos específicos (por ejemplo, motores, compresores, sistemas HVAC) en comparación con su rendimiento óptimo.

3. Tiempo de inactividad no programado: Mide el tiempo en que los equipos están fuera de servicio debido a fallas. Un tiempo de inactividad elevado puede indicar deficiencias en el mantenimiento y un impacto en el consumo energético.

4. Mantenimiento preventivo vs. correctivo: Proporción de actividades de mantenimiento preventivo respecto a las correctivas. Un mayor porcentaje de mantenimiento preventivo puede conducir a un mejor desempeño energético.

5. Índice de pérdidas de energía: Mide las pérdidas de energía en los sistemas durante el funcionamiento. Un índice bajo indica una mejor gestión del consumo energético.

6. Análisis de tendencias de consumo energético: Seguimiento del consumo energético en el tiempo, identificando patrones y obteniendo información para la toma de decisiones en el mantenimiento.

7. Retorno de la inversión (ROI) de mejoras en eficiencia energética: Evaluar el retorno financiero de las inversiones realizadas en la mejora de la eficiencia energética de los sistemas de mantenimiento.

8. Índice de mantenimiento (MTTR y MTBF): Tiempo Medio de Reparación (MTTR) y Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), que ayudan a medir la eficacia del mantenimiento en la reducción del consumo energético.

## **1.8 Algunos aspectos de la eficiencia energética y el mantenimiento.**

1. Prevención de Fallos: Un programa de mantenimiento efectivo es esencial para asegurar que las calderas operen dentro de sus parámetros óptimos. El mantenimiento preventivo y predictivo puede identificar problemas antes de que se conviertan en fallos costosos.

2. Vida Útil del Equipo: El mantenimiento adecuado prolonga la vida útil de las calderas, lo que es crucial para la inversión inicial realizada en estos equipos. Esto también reduce la necesidad de reemplazos frecuentes, lo que puede ser costoso y disruptivo.

3. Mejora del Desempeño Energético: La implementación de una matriz de mantenimiento que incluya revisiones regulares, limpieza, calibración y ajustes puede mejorar significativamente el índice de desempeño energético de las calderas.

Un equipo bien mantenido opera más eficientemente, lo que se traduce en un menor consumo de energía.

1. Datos para la Toma de Decisiones: La recopilación y análisis de datos sobre el rendimiento energético y el estado del mantenimiento permite a los ingenieros identificar tendencias y áreas de mejora.

2. Capacitación del Personal: La formación continua del personal encargado del mantenimiento es crucial para garantizar que entiendan cómo sus acciones impactan la eficiencia energética.

3. Implementación de Tecnologías Avanzadas: La incorporación de tecnologías como sensores IoT y sistemas de gestión de energía puede optimizar tanto el mantenimiento como la eficiencia energética, permitiendo un monitoreo en tiempo real y ajustes automáticos.

En resumen la interrelación entre ambos aspectos es clave para lograr operaciones más sostenibles y rentables, asegurando que las calderas funcionen no solo con eficacia, sino también con un mínimo impacto ambiental.

## **1.9 La caldera ígneo tubular.**

También conocidas como calderas acuotubulares, son un tipo de caldera que utiliza tubos para calentar agua y generar vapor. Estas calderas son ampliamente utilizadas en aplicaciones industriales debido a su alta eficiencia y capacidad para operar a altas presiones y temperaturas.

A continuación, se describen sus características y los métodos para calcular los Índices de Desempeño Energético (IDEn).

### **1.9.1 Características de las Calderas Ígneo Tubulares.**

1. Diseño: Las calderas ígneo tubulares están compuestas por una serie de tubos donde circula agua. El calor generado por la combustión del combustible calienta el agua en estos tubos, produciendo vapor.

2. Eficiencia: Este tipo de caldera es conocida por su alta eficiencia térmica, ya que permite un contacto óptimo entre el agua y los gases de combustión.

3. Capacidad de Operación: Pueden operar a altas presiones y temperaturas, lo que las hace adecuadas para aplicaciones industriales que requieren grandes cantidades de vapor.

4. Flexibilidad de Combustibles: Pueden utilizar diferentes tipos de combustibles, incluyendo gas natural, petróleo, carbón y biomasa.

5. Mantenimiento: Su diseño permite un mantenimiento más accesible en comparación con otros tipos de calderas.

### **1.9.2 Métodos para Calcular los Índices de Desempeño Energético (IDEn).**

Los Índices de Desempeño Energético (IDEn) son métricas utilizadas para evaluar la eficiencia y el rendimiento energético de las calderas. Existen varios métodos para calcular estos índices:

1. Eficiencia Térmica:

- Eficiencia Bruta: Se calcula como la relación entre la energía útil producida (vapor generado) y la energía total consumida (combustible utilizado).

$$\text{Eficiencia Bruta} = \text{Energía Útil} / \text{Energía Total} \times 100$$

## 2. Eficiencia de Combustión:

- Esta métrica evalúa la cantidad de combustible que se convierte en energía útil en comparación con la cantidad total de combustible consumido. Se puede calcular mediante análisis de gases de escape y mediciones de combustible.

## 3. Índice de Consumo Específico:

- Este índice mide la cantidad de combustible consumido por unidad de vapor producido.

$$\text{Índice de Consumo Específico} = \text{Flujo Másico de Combustible} / \text{Flujo Másico de Vapor.}$$

## 4. Análisis de Gases de Escape:

- Medir la composición y temperatura de los gases de escape puede proporcionar información sobre la eficiencia del proceso de combustión y permitir ajustes para mejorar el rendimiento.

## 5. Cálculo del Calor Perdido:

- Evaluar las pérdidas de calor a través de la chimenea, radiación y convección es fundamental para determinar la eficiencia general de la caldera.

$$\text{Pérdidas Totales} = \text{Pérdidas por Chimenea} + \text{Pérdidas por Radiación} + \text{Otras Pérdidas.}$$

## 6. Monitoreo Continuo:

- La implementación de sistemas de monitoreo continuo puede ayudar a obtener datos en tiempo real sobre el rendimiento energético, permitiendo ajustes inmediatos y mejorando el IDEn.

### **1.10 Conclusiones parciales del capítulo**

Una vez finalizado el presente capítulo, se ha podido arribar a las siguientes conclusiones parciales:

- Primeramente se realiza un análisis del panorama energético mundial y la situación energética en Cuba, a continuación se dan los elementos dado por el Ministro de Energía y Mina sobre la Estrategia para la transición energética en Cuba, los indicadores para la implementación relevantes de la estrategia así como las principales acciones para reducir la máxima demanda del Sistema Eléctrico Nacional (SEN). A continuación se reseña sobre el surgimiento y necesidad de la Generación distribuida en Cuba y sus ventajas. A continuación se da a conocer sobre la eficiencia energética algunos conceptos de diferentes autores. Se define el término desempeño energético e indicadores de Desempeño Energético (IDEn).
- En segundo lugar se aborda sobre el Proyecto de Conceptualización del Modelo Económico y Social Cubano de Desarrollo Socialista y el Proyecto Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta 2030, en el cual se aborda sobre el mantenimiento, donde se definen conceptos, los tipos, sus objetivos y ventajas. Posteriormente se da a conocer los parámetros para medir la efectividad del (IDEn) de la matriz de mantenimiento. Algunos aspectos de la eficiencia energética y el mantenimiento.
- Finalmente se realiza un análisis sobre las calderas ígneo tubulares, donde se analiza, características, los métodos para calcular los Índices de Desempeño Energético (IDEn). En conclusión, utilizar métodos adecuados para calcular estos índices permite a las empresas optimizar sus procesos y reducir costos operativos.

## **2. Capítulo 2 Materiales y Métodos.**

El capítulo «Materiales y Métodos, tiene como propósito principal describir detalladamente todo el procedimiento que se utilizó en la investigación, en aras de posibilitar la reproductibilidad del estudio por parte de otros investigadores.

Primeramente, se realizará una caracterización del área de estudio, además la descripción y funcionamiento del emplazamiento y del generador de vapor o caldera. Como resultado de la consulta con expertos se analizará los elementos que

incluye el cuidado de las calderas acuotubulares y su importancia, problemas comunes, así como los problemas que afectan en la CE José Martí.

A continuación, se analizarán las barreras y oportunidades de una matriz en calderas, se refiere sobre la matriz de mantenimiento en calderas y se profundiza en algunas de sus áreas más comunes, se presenta el modelo propuesto de matriz de mantenimiento.

Finalmente se muestran el trabajo realizado en la inspección técnica a las calderas, el estudio de gases realizado en la CE José Martí, y el análisis económicos del comportamiento del consumo de combustible y generación.

## **2.1 Características del Área de Estudio.**

### **Caracterización de la Central Eléctrica de Fuel-oil.**

La UEB. Empresa de Mantenimiento y Generación Eléctrica Fuel oil de Matanzas, pertenece al Ministerio de Energía y Minas, con domicilio legal en Km 3 y 1/2, Zona industrial, Versalles, municipio Matanzas, creada por resolución I-44-2011, en la Central Eléctrica Fuel oil José Martí, la tecnología de producción está basada en la utilización de motores-generadores Hyundai de Sur Corea, la central cuenta con 12 motores-generadores, con capacidad de generación de 30 MW, el emplazamiento ubicado en el km 3 y ½ Carretera zona industrial, Versalles, esta Central Eléctrica cuenta con un horario de trabajo de 24 horas continuas repartidas en dos turnos de 12 horas cubiertos por brigadas de operadores y mecánicos en días alternos durante todo el mes.

Los GE están conformados por un sistema motriz, que es el motor de combustión interna (MCI), un sistema de regulación, un sistema eléctrico, un sistema de refrigeración, un alternador, un depósito de combustible, una bancada, un sistema de aislamiento de vibraciones, un silenciador y un sistema de escape, además un sistema de control, un interruptor automático de salida y otros accesorios que nos ayudan a controlar y mantener, de forma automática, el correcto funcionamiento de las mismas.

### **Objeto social.**

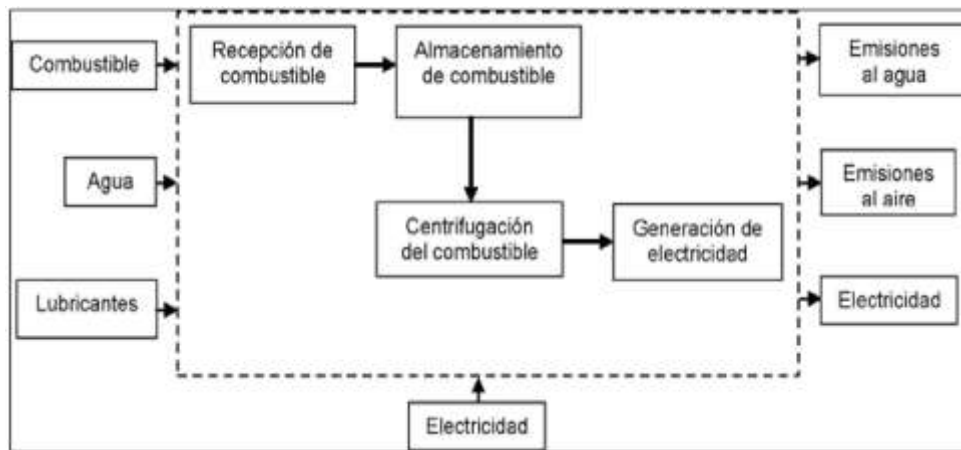
Brindar servicios técnicos vinculados al mantenimiento, reparación, montajes industriales incluidos la parte civil y modernizaciones de calderas, turbocompresores, generadores eléctricos, transformadores, motores, bombas y equipamiento industrial. Fabricar, reparar y comercializar equipos, componentes, partes y piezas de repuesto de grupos electrógenos y Generar energía eléctrica.

**Misión:**

Garantizar la generación eficiente y sustentable de energía eléctrica en régimen base, con motores de combustión interna, respondiendo a los requisitos del Sistema Electroenergético Nacional (SEN) con profesionalidad y confiabilidad.

**Visión:**

Alcanzar los niveles de generación de energía eléctrica que permitan satisfacer las necesidades de nuestro cliente, manteniendo una alta disponibilidad, confiabilidad y seguridad operacional; mejorando la eficacia y eficiencia del sistema de gestión, el clima organizacional, el ahorro de recursos y la mitigación de los impactos ambientales negativos.



**Figura 4.** Flujo productivo en la Central Eléctrica.

**2.2 Descripción y funcionamiento del emplazamiento.**

La tecnología de producción de energía está basada en la utilización de motores generadores Hyundai Surcoreano, la Central cuenta con 12 motores-generadores, con capacidad de generación de 2,5 MW cada uno y 6 600 V, con tres plantas de tratamiento de combustible pesado (Heavy Fuel oil o HTU), donde se purifica el fuel

oil, se eleva la temperatura para bajar la viscosidad y se limpia el aceite de lubricación de los motores para volverlo a utilizar, además cuenta para el proceso con una estación de recepción del combustible, como consecuencia de la purificación se produce un subproducto llamado lodo, que es llevado a un tanque de 50 000 litros, donde luego de ser drenada toda el agua se saca fuera de la Central en pailas, además cuenta para el proceso con una estación de recepción del combustible, una planta de tratamiento de agua, tres Calderas Recuperativas y tres estaciones de Compresores y la sala de control remoto. Los principales indicadores a medir son la disponibilidad, el consumo específico del combustible y el consumo de aceite. La Central tiene aproximadamente 4800 horas de explotación hasta la fecha. Aunque hoy la CE está limitada, trabajando con solo una batería y 4 motores tras el incendio de los supertanqueros de Matanzas, por lo que los datos e información recopilada de la UEB están referido a los motores y batería en servicio. Las calderas en el momento del incendio no se encontraban funcionando, por problemas en las purificadoras de fuel, las misma se encontraban fuera de servicio por piezas, no obstante presentaron afectación por el incendio en el sistema eléctrico.

### **2.3 Generador de vapor o caldera.**

La caldera es un recipiente cerrado que consta de 2 partes principales, como la cámara de agua y la cámara de vapor; principalmente es un equipo de generación de vapor a presión, utilizado en procesos industriales y/o calefacción. Estos generadores de vapor están diseñado para transferir el calor procedente de la combustión de un combustible, a un líquido contenido dentro de este equipo. El líquido contenido en el equipo está sujeto a ciertas condiciones de seguridad. El vapor o agua caliente debe ser suministrado bajo ciertas condiciones requeridas de temperatura, presión y calidad.

#### **2.3.1 Factores que influyen en el cuidado de las calderas acuatubulares.**

Seguridad: El mantenimiento adecuado de las calderas acuatubulares es crucial para garantizar la seguridad de las personas que trabajan en su entorno. Un

funcionamiento deficiente o una falta de mantenimiento, pueden provocar accidentes graves, como explosiones o fugas de vapor.

**Eficiencia energética:** Un mantenimiento adecuado, garantiza que la caldera funcione de manera eficiente, lo que a su vez reduce el consumo de energía y los costos operativos.

**Durabilidad:** El cuidado adecuado prolonga la vida útil de la caldera, lo que significa que no será necesario reemplazarla con tanta frecuencia, lo que ahorra costos a largo plazo.

**Cumplimiento normativo:** Las calderas acuatubulares están sujetas a regulaciones y normativas estrictas en cuanto a su mantenimiento y operación. El incumplimiento de estas normativas puede acarrear sanciones legales y económicas.

### **2.3.2 Problemas comunes en calderas.**

**Incrustaciones y depósitos:** La acumulación de incrustaciones y depósitos en los tubos de la caldera puede reducir la eficiencia térmica y causar obstrucciones, lo que a su vez puede provocar un aumento de la presión y el riesgo de sobrecalentamiento.

**Corrosión:** La corrosión es un problema común en las calderas acuatubulares y puede ser causada por la presencia de oxígeno disuelto en el agua de alimentación, lo que conduce a la formación de óxido en los tubos y otros componentes metálicos.

**Fugas de vapor:** Las juntas deterioradas, los tubos agrietados o dañados, o los problemas en las válvulas de seguridad pueden resultar en fugas de vapor, lo que representa un riesgo para la seguridad y puede afectar la eficiencia operativa de la caldera.

**Problemas de control y automatización:** Los sistemas de control y automatización de las calderas pueden experimentar fallas, lo que puede afectar el funcionamiento adecuado de la caldera y su capacidad para mantener condiciones de operación segura y eficiente.

**Acumulación de lodo:** La acumulación de lodo en el fondo de la caldera puede reducir la transferencia de calor y aumentar el riesgo de corrosión, además de disminuir la eficiencia general del sistema.

### **2.3.2.1 Problemas que afectan la CE José Martí.**

- El grado de agresividad de la zona donde se encuentra ubicada la CE José Martí, su cercanía a la costa y la influencia de los vientos del norte que arrastran consigo alto nivel de humedad salinizada.
- La carencia de recursos para realizar los mantenimientos según su fabricante.
- Los daños causados a la zona donde se encuentran ubicadas las calderas y sus agregados, por el incendio a la base de Supertanqueros Matanzas.
- El envejecimiento por llevar más de 16 años de explotación siendo régimen base del Sistema Energético Nacional.
- El éxodo de personal preparado en busca de mejor remuneración monetaria.
- La falta de preparación del personal que opera y mantiene la misma.
- Los procedimientos de los sistemas integrados de Gestión de la empresa, no están en correspondencia con la realidad del momento.

### **2.4 Barreras y oportunidades de una matriz de mantenimiento en calderas.**

#### Barreras.

1. Falta de Capacitación: Los operadores y técnicos pueden no tener la formación necesaria para utilizar adecuadamente la matriz de mantenimiento. Esto puede llevar a una mala interpretación de los datos.
2. Resistencia al Cambio: Es común que el personal se sienta cómodo con los métodos tradicionales de mantenimiento y resista la adopción de nuevos enfoques.
3. Costos Iniciales: La implementación de una matriz de mantenimiento puede requerir inversiones iniciales en tecnología y formación, lo que puede ser un impedimento para algunas organizaciones.
4. Integración de Sistemas: La dificultad de integrar la matriz con sistemas existentes de gestión puede crear problemas de compatibilidad.
5. Falta de Datos Históricos: La ausencia de un registro adecuado del rendimiento y fallos anteriores puede dificultar el desarrollo de una matriz efectiva.

#### Oportunidades.

1. Optimización de Recursos: Una matriz de mantenimiento permite planificar mejor las intervenciones, optimizando el uso de recursos humanos y materiales.

2. **Aumento de la Vida Útil:** Al realizar mantenimientos predictivos y preventivos, se puede prolongar la vida útil de las calderas.
  3. **Reducción de Costos:** Un enfoque proactivo puede reducir los costos operativos a largo plazo al evitar fallas costosas y tiempos de inactividad.
  4. **Mejora en la Seguridad:** Implementar una matriz de mantenimiento contribuye a la identificación temprana de problemas, lo que mejora la seguridad operacional.
  5. **Cumplimiento Normativo:** Ayuda a asegurar que las calderas cumplan con las normativas y estándares de seguridad, lo que puede ser crucial en ciertas industrias.
- La implementación de una matriz de mantenimiento en calderas puede ser un proceso desafiante, pero las oportunidades que presenta superan a las barreras si se gestionan adecuadamente. La formación y la comunicación continua son claves para facilitar esta transición.

En la matriz de mantenimiento se suelen establecer diferentes categorías o niveles de prioridad, como, por ejemplo: crítico, importante y rutinario. Cada equipo se ubica en una de estas categorías en función de su importancia para la operación del negocio y la frecuencia con la que requiere mantenimiento. Esta matriz ayuda a priorizar las tareas de mantenimiento, asignando más recursos y atención a los equipos más críticos o importantes. Además, permite planificar y programar las actividades de mantenimiento, de manera más eficiente, optimizando los recursos disponibles y reduciendo los tiempos de inactividad no planificados. La implementación de una matriz de mantenimiento es esencial para asegurar la eficiencia y la seguridad en la operación de las calderas acuatubulares. Un enfoque sistemático que considere todos los factores mencionados te ayudará a tomar una decisión informada sobre su necesidad.

## **2.5 La matriz de mantenimiento para calderas.**

Generalmente incluye una lista de tareas específicas, frecuencias recomendadas (diaria, semanal, mensual, anual) y responsables de cada tarea.

**Normativas y Regulaciones:** El mantenimiento de calderas está regulado por normativas locales e internacionales (como ASME, EN, o códigos específicos de cada país). La matriz ayuda a garantizar el cumplimiento de estas normativas.

**Seguridad:** La seguridad es una prioridad en el mantenimiento de calderas. La matriz incluye procedimientos para identificar y mitigar riesgos, como fugas de vapor o problemas con sistemas de presión.

**Documentación y Registro:** Mantener registros detallados de las actividades de mantenimiento es esencial. La matriz puede ayudar a documentar cuándo se realizaron las tareas, quién las realizó y los resultados obtenidos.

**Capacitación del Personal:** La capacitación adecuada del personal que realiza el mantenimiento es crucial. La matriz puede incluir información sobre las habilidades necesarias para cada tarea y planes de formación.

**Beneficios Económicos:** Un buen programa de mantenimiento basado en una matriz, puede reducir costos operativos al minimizar el tiempo de inactividad no planificado y extender la vida útil de la caldera.

La matriz de mantenimiento se ha aplicado en diversos sectores e industrias para optimizar la gestión del mantenimiento de equipos y activos.

1. **Manufactura:** En fábricas y plantas de producción, la matriz de mantenimiento ayuda a priorizar el mantenimiento de maquinaria y equipos críticos para minimizar el tiempo de inactividad y maximizar la eficiencia operativa.

2. **Energía:** En la industria energética, incluyendo plantas de generación eléctrica (térmicas, hidroeléctricas, eólicas, etc.), la matriz permite gestionar el mantenimiento de equipos como turbinas, generadores y sistemas eléctricos.

En el caso de las calderas de la tecnología HYUNDAI HIMSEN 2.5 MW, su producción de vapor se emplea para precalentar el combustible y reducir su viscosidad, antes de su atomización a la cámara de combustión del motor, esto influirá en la eficiencia del grupo electrógeno y claro de la caldera recuperadora de calor, es decir la capacidad de precalentar el combustible para mejorar IDEn depende del estado técnico de la caldera acuotubular recuperadora de calor.

3. **Transporte:** En el sector del transporte, tanto en ferrocarriles como en aerolíneas y flotas de vehículos, se utiliza para planificar el mantenimiento de vehículos y

equipos de manera que se garantice la seguridad y se minimicen las interrupciones en el servicio.

4. Construcción: En proyectos de construcción, la matriz puede ayudar a gestionar el mantenimiento de maquinaria pesada y equipos utilizados en el sitio, asegurando que estén disponibles cuando se necesiten.

5. Salud: En hospitales y centros de salud, la matriz se utiliza para gestionar el mantenimiento de equipos médicos, asegurando que estén en condiciones óptimas para el diagnóstico y tratamiento de pacientes.

6. Infraestructura: En la gestión de infraestructuras como puentes, carreteras y edificios, la matriz ayuda a planificar el mantenimiento preventivo y correctivo, garantizando la seguridad y la durabilidad de las estructuras.

7. Tecnología de la Información: En el ámbito de TI, se aplica para gestionar el mantenimiento de servidores, redes y otros activos tecnológicos, asegurando que los sistemas funcionen sin interrupciones.

8. Industria Alimentaria: En plantas de procesamiento de alimentos, la matriz es crucial para garantizar que los equipos cumplan con los estándares de higiene y operen eficientemente.

La aplicación de la matriz de mantenimiento varía según las necesidades específicas de cada sector, pero su objetivo común es mejorar la eficiencia del mantenimiento y prolongar la vida útil de los activos.  
(<https://www.openia.com/chatgot> 2024)

## **2.6 Modelo de propuesta de matriz mantenimiento.**

**Tabla: 2.1** Modelo de propuesta de matriz mantenimiento.

FECHA DE EMISIÓN: REVISIÓN: 00 PÁGINA: 01

<b>Ejecutor (cargo o función):</b>	<b>No de Ejecutantes:</b>								
<b>Dónde:</b>	<b>Tiempo de Ejecución:</b>								
<b>Recursos Necesarios:</b>									
<b>Cuidados Especiales:</b>									
<b>Aseguramiento de la Calidad:</b>									
<b>MATRIZ DE MANTENIMIENTO DE LA CALDERA ACUOTUBULAR</b>									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	

**Fuente:** Elaboración propia.

En los anexos del trabajo aparecen los procedimientos existentes en este momento, donde se aprecia entre otras cosas, que no se tiene en cuenta el tiempo real transcurrido, sino el tiempo de trabajo del motor, que está sujeto a las posibilidades de suministro de combustible y piezas. Este trabajo fue realizado consultando las acciones a realizar y el esclarecimiento con especialistas de la CE y el organismo superior con vasta experiencia y conocimiento del tema.

**2.7 Inspección técnica a las calderas.**

Esta instalación fue afectada por el incendio a la Base de Supertanqueros de CUPET dejando sin servicio 2 Calderas Recuperativa de 1000 kg/hora HYUNDAI HIMSEN 2.5 MW de 4 Unidades de 9H25/33 para lo cual se solicitó por parte de la dirección de la UEB los servicios de la Empresa Alastor Matanzas que después de realizar la Inspección técnica que incluye la inspección interior, la medición

Ultrasónica de espesores MUE al cuerpo a presión y el cálculo de resistencia mecánica del mismo con el objetivo de valorar el estado técnico actual del generador de vapor. Este trabajo se realizó sobre las bases de las normas establecidas en la Resolución 47/2014 del MTSS Reglamento de seguridad para la instalación, explotación y mantenimiento de las calderas de vapor y la resolución conjunta No.2 MICONS- Reglamento sobre requisitos de seguridad para la construcción de las salas de calderas en la cual se recoden todos los aspectos y normas sobre el montaje de las salas de calderas y equipos auxiliares.

Para el estudio se consultaron los siguientes datos del fabricante.

**Tabla 2.2** Datos del fabricante.

Fabricante	HYUNDAI HIMSEM Korea del Sur.
Modelo	Para 4 Unidades 9H25/33
Generación Máxima de vapor	1000Kg/h
Tipo	Recuperativo Acuotubular
Combustible	Diesel/ Fuel -Oíl
Temperatura de diseño de Vapor	169 <sup>0</sup> C
Temperatura de Gases de entrada	450 <sup>0</sup> C
Temperatura de Gases de salida	250 <sup>0</sup> C
Presión máxima de diseño de vapor	10 Kg/cm <sup>2</sup>
Presión máxima de trabajo actual de vapor	7Kg/cm <sup>2</sup>
Presión máxima de prueba hidráulica.	13 Kg/cm <sup>2</sup>
Diámetro de la envolvente	900mm
Espesor de la envolvente	12mm
Longitud de la envolvente	1500mm

**Fuente:** Manual de generación distribuida.

Las pruebas realizadas arrojaron resultados satisfactorios.

## **2.8 Estudio de Gases realizado en la CE José Martí.**

El Departamento de Impacto Ambiental de CUBAENERGIA realizó este estudio, con el objetivo evaluar la contribución (aporte) a la contaminación atmosférica, producida por la generación de electricidad en la central eléctrica fuel oil.

El análisis de gases de combustión tiene como principales finalidades, el control de eficiencia de sistemas de combustión y el control de emisiones gaseosas. Por medio del análisis de combustión, se puede tener certeza del funcionamiento de dicho sistema y poder optimizarlo. Cuando la combustión es completa, todo el Carbono (C) y el Hidrógeno (H) presente en el combustible reacciona con el Oxígeno (O), formando Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) y vapor de agua (H<sub>2</sub>O) liberándose energía luminosa y calorífica. Finalmente, todo el Nitrógeno (N<sub>2</sub>) contenido en el aire admitido, al no participar en la combustión, es expelido por el escape tal como fue admitido.

Los efectos negativos más comunes e importantes de la combustión, es la contaminación del aire. Esta contaminación consiste, en la presencia en la atmósfera de una o varias sustancias en concentraciones tales, que pueden originar riesgos, daños o molestias a las personas y al resto de seres vivos, perjuicios a los bienes y/o cambios de clima.

Como parte de la reglamentación de protección medioambiental, los gases de combustión de las instalaciones industriales están sujetos a normas, que establecen los límites máximos permitidos de emisiones y concentración en el aire. En nuestro país existe las normas de calidad de aire: NC 1020: 2014<sup>1</sup>, Calidad del aire—Contaminantes-Concentraciones Máximas Admisibles y Valores Guías en zonas Habitables y la norma en ambiente laboral, NC: 19-0163: 1991<sup>2</sup>, NC 39:1999<sup>3</sup>, requisitos higiénicos sanitarios: Concentraciones máximas admisibles, alturas mínimas de expulsión y zonas de protección sanitaria y desde mediados de 2010 la norma de emisiones NC 803:2017<sup>4</sup>, Calidad del aire – Emisiones máximas admisibles de contaminantes a la atmósfera en fuentes fijas puntuales de instalaciones generadoras de electricidad y vapor.

En el presente trabajo se presentan, las mediciones de las emisiones de CO, SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> y la temperatura de los humos de los gases de combustión, de los motores de la central eléctrica José Martí, correspondiente al Contrato No 15/2023 con la UEB EMGEF Matanzas. Las mediciones se realizaron en los conductos hacia las chimeneas. La central eléctrica cuenta con 12 motores Hyundai de 2.5 MW cada uno, agrupados en baterías de 4 motores.

Se realiza la medición de las emisiones y se modela la dispersión de los contaminantes atmosféricos (CO, SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>), en el período que abarca de enero a diciembre de 2023 (1 año). Se asumió lo siguiente:

1. Para la modelación de la dispersión de los contaminantes atmosféricos se tuvo en cuenta las horas de trabajo de cada motor.
2. Se consideran para la modelación los motores de todas las baterías generando con Diésel.

Se evaluaron períodos de 1 hora, 24 horas y período (1 año).

Para el estudio se utiliza la Metodología de Vías de Impacto. A partir de los inventarios de emisión de contaminantes a la atmósfera en los emplazamientos, se obtienen sus concentraciones incrementales en el aire. Para resolver la dispersión local (hasta 50 km de las fuentes) de contaminantes se utilizó el sistema de modelos AERMAP-Uso de Suelo-AERMETAERMOD, teniendo en cuenta la topografía del terreno, el uso del suelo, la deposición de los contaminantes, entre otros aspectos importantes. En la modelación se consideraron como fuentes puntuales las chimeneas de cada batería.

Los resultados obtenidos se presentan de forma numérica con salida gráfica. Se muestran las concentraciones incrementales de los contaminantes atmosféricos en el dominio de modelación, como Isolíneas de concentración máxima y promedios, cuando se superan las concentraciones máximas admisibles o se incumple la norma.

No ocurre violación de las normas en la emisión de los contaminantes en ninguna fuente del emplazamiento. En la estimación (modelación) de la dispersión de los

contaminantes encontramos que se superan los valores normados en concentración (concentración máxima admisible) en los  $\text{NO}_x$  en el período de 1 hora. No hay incumplimiento de la norma de Calidad de Aire.



**Figura 5:** Imagen de toma de gases

Para los períodos de 24 horas y anual para este contaminante debido a las emisiones de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), monóxido de carbono en los tres períodos no se superan las concentraciones máximas admisibles.

La información numérica se complementa con las isolíneas de concentración máximas de las cuales mostramos en la figura las correspondientes al monóxido de carbono para 1 hora, contaminante donde se superan los valores normados.



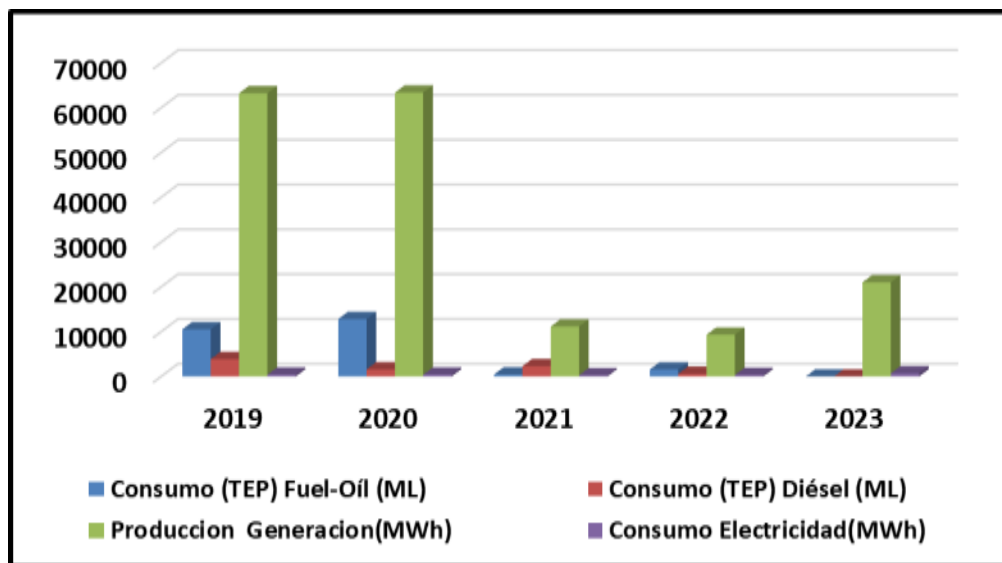
**Figura 6:** Mapa de Isolíneas.

## 2.9 Análisis Económico del comportamiento del consumo de combustible y generación.

**Tabla 2.3** Consumo de combustibles, electricidad y Generación de Energía

Consumo (TEP)			Producción	Consumo
Años	Fuel-oil (TEP)	Diésel (TEP))	Generación (MWh)	Consumo Electricidad (MWh)
2019	10529,8	3882,38	63240,3	419,4
2020	12827,63	1593,53	63376,9	415,8
2021	459,72	2.293	11159,2	282,8
2022	1.576	586,45	9336,2	340
2023	0	4922.89	21004,9	689,66

**Fuente:** Propia, recopilada del departamento de operaciones EMGEF



**Figura 7.** Gráfico consumo (TEP) vs Producción de Energía (MWh). Fuente de elaboración propia.

En la figura se muestra el comportamiento gráfico del consumo de combustible y la producción de electricidad a través de los años, mediante la correlación de las variables.

Consumo de Fuel-Oil: El consumo de fuel-oil presenta una tendencia decreciente a lo largo de los años, comenzando en 10529.8 TEP en 2019 y llegando a 0 en 2023.

Esto conlleva a una transición significativa hacia el uso de combustibles alternativos, favoreciendo el diésel, teniendo un impacto en el costo, puesto que el diésel es más caro que el fuel oil, así como en la incidencia en la baja eficiencia de los motores con averías repetitivas y los costos se elevan al tener que buscar soluciones en la sustitución y reparación de piezas para los mismos.

Consumo de Diésel: En contraste con el fuel-oil, el consumo de diésel muestra un aumento notable hasta 2023, donde se alcanza un valor de 4922.89 TEP. La dependencia del diésel fue crítica para la operación continua de la planta, especialmente dada la baja del consumo de fuel-oil.

Generación (MWh): La generación de energía experimenta variaciones. En 2019 y 2020, la generación es bastante alta (63240.3 MWh y 63376.9 MWh respectivamente), pero hay una notable disminución en 2021 y 2022, con valores de 11159.2 MWh y 9336.2 MWh. En el año 2022 la generación fue afectada por la parada en cero de la Planta producto al incendio de la Base de Supertanqueros de Matanzas, Sin embargo, 2023 muestra un repunte considerable en la generación a 21004.9 MWh a pesar de que no se cumplió con los planes, como ya se argumentó anteriormente que fue recuperándose de la parada por el incendio, sin la utilización del fuel-oil.

Consumo de Electricidad (MWh): El consumo de electricidad también muestra fluctuaciones en esos años. Se observa que, aunque la generación general disminuyó en 2021 y 2022, hay un aumento del consumo en 2023 con 689.66 MWh, en este año se utilizaron equipos altos consumidores de electricidad para la recuperación, y otros equipos que perdieron su automatización tras el incendio como los ventiladores de los radiadores, lo que indica un impacto en términos de costos operativos, consumos y sostenibilidad ambiental.

Análisis de tendencias: Se puede observar que la central eléctrica ha reducido drásticamente su uso de fuel-oil y ha aumentado el uso de diésel, lo que indica la dependencia del mismo y el deterioro de los motores aumenta, lo que implica una mejora en la tecnología de generación, las purificadoras en óptimas condiciones, así como las calderas y en la gestión eficiente de la planta.

Las principales interrupciones ocurridas en los períodos fueron:

- F/S por altas temperaturas de los cilindros
- F/S por fuga de combustible y aceite
- F/S por alta temperatura del agua de enfriamiento
- F/S por falta de filtros de aceite.
- F/S por falta de aceite -causa externa
- La calidad de los controles operacionales y mantenimiento por parte del personal de la CE no fueron suficiente, por lo que incide en la preparación y las faltas de recursos.

Para determinar el comportamiento de los indicadores y poder establecer metas futuras con el calculo de la LBE<sub>n</sub> se proporsiona el consumo de energía no asociada a la variable dependiente y permite establecer un indicador de consumo que ayuda a desarrollar la etapa de implementación y seguimiento de forma adecuada, se establece el período de referencia de un año, donde se muestren valores significativos eficientes en un tiempo de estabilidad.

$$E = mP + E_0 \quad (2.1)$$

La línea base se construye a partir de la energía consumida y la producción equivalente.

Utilizar el método de los mínimos cuadrados para determinar el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) entre E y P y trazar la línea de mejor ajuste.

Ecuaciones que permiten calcular los índices de desempeño energético.

Consumo específico del combustible. (g/KWh)

$$\text{Consumo EC} = \frac{\text{Consumo EC (TEP)}}{\text{Producción de energía(MWh)}} * 1000 \quad (2.2)$$

Índice de eficiencia energética.

$$\text{IEE} = \frac{\text{Producción de Energía (MWh)}}{\text{Consumo Total de Combustible (TEP)}} \quad (2.3)$$

## 2.10 Conclusiones parciales del Capítulo.

Una vez finalizado el presente capítulo, se ha podido arribar a las siguientes conclusiones parciales:

- Primeramente, se caracterizó del área de estudio y la descripción y funcionamiento del emplazamiento, se determinan varios factores de suma importancia en el cuidado de las calderas y sus problemas comunes, así como la situación presente la CE José Martí.
- A continuación se determinaron las barreras y oportunidades de una matriz de mantenimiento en calderas, así como algunas de las áreas más comunes donde se utiliza y el modelo de propuesta de la matriz de mantenimiento.
- Finalmente se analizaron los posibles impactos, con la inspección técnica a las calderas, el estudio de gases y el análisis económico del comportamiento del consumo de combustible y generación.

### **3 Capítulo 3 Análisis de los Resultados.**

#### **Objetivos del Capítulo.**

- Evaluar el impacto del mantenimiento propuesto en el rendimiento energético de las calderas, analizando cómo este mantenimiento puede influir en la eficiencia general de los sistemas.
- Comparar el índice de desempeño energético de las calderas antes y después de aplicar la matriz de mantenimiento, identificando mejoras en el uso de energía y costos operativos.
- Identificar patrones y tendencias en los resultados, que permitan determinar la efectividad de la matriz de mantenimiento y proponer futuras áreas de mejora.
- Sustentar las conclusiones con datos cuantitativos y cualitativos obtenidos a partir de pruebas y mediciones realizadas en condiciones operativas específicas.

Estos objetivos permiten estructurar un análisis que no solo presente resultados, sino que también facilite una comprensión profunda del papel del mantenimiento en la optimización del desempeño energético.

### 3.1 Tabla Comparativa de Índices de Desempeño Energético: Fuel oil vs. Diésel en motores de la tecnología HYUNDAI HIMSEN 2.5 MW.

En la tabla comparativa se muestra los índices de desempeño energético para los motores que utilizan fuel oil y diésel. Esta tabla incluye diferentes parámetros que son relevantes para entender el rendimiento la eficiencia de ambos tipos de combustible en motores de combustión interna.

**Tabla 3.1.** Comparación entre los Índices de Desempeño Energético.

Parámetros	Fuel oil			Diésel			Origen del valor del parámetro
	Años	2020	2021	2023	2020	2021	
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	850 - 950	850 - 950	850 - 950	820 - 860	820 - 860	820 - 860	Datos de norma
<b>Poder Calorífico Inferior (MW/kg)</b>	40 - 42	40 - 42	40 - 42	35 - 38	35 - 38	35 - 38	Datos de norma,
<b>Eficiencia Térmica (%)</b>	29-34	30 - 35	30 - 35	33-39	35 - 40	35 - 40	Medido.
<b>Emisiones CO2 (g/kWh)</b>	890 - 990	830 - 930	800 - 900	654 - 764	622 - 722	600 - 700	Medido.
<b>Emisiones NOx (g/kWh)</b>	10	8	6 - 10	8	6	6 - 10	Medido.
<b>Costo por Energía (CUP/MWh)</b>	50- 70	50 - 70	50- 70	60 - 80	60 - 80	60-80	Medido.

<b>Mantenimiento (costo/horas)</b>	Alto	Alto	Alto	Moderado	Moderado	Moderado.	Calculado.
<b>Durabilidad del Motor</b>	Menor	Menor	Menor	Mayor	Mayor	Mayor	Calculado.
<b>Índice de consumo g/ kWh)</b>	216	217	217	224	225	225	Calculado.
<b>Impacto Ambiental</b>	Mayor	Mayor	Mayor	Menor	Menor,	Menor	Calculado.
<b>Caldera</b>	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%
<b>Motor</b>	92%	92%	92%	92%	92%	92%	92%

**Fuente:** Datos recopilados por el departamento operaciones UEB.

Explicación de los Parámetros.

1. Densidad: La densidad del combustible afecta la cantidad de energía que se puede almacenar en un volumen dado. Un combustible más denso puede proporcionar más energía en un espacio reducido.
2. Poder Calorífico Inferior: Es la cantidad de energía que se puede obtener de un kilogramo del combustible al quemarse. Un mayor poder calorífico indica un mejor rendimiento energético.
3. Eficiencia Térmica: Se refiere a la eficiencia con la que un motor, convierte la energía del combustible en trabajo útil. Un motor diésel tiende a ser más eficiente que uno que utiliza fuel oil.
4. Emisiones CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>: Estas son medidas de las emisiones contaminantes generadas por la combustión de cada tipo de combustible. Menores emisiones son preferibles desde el punto de vista ambiental.

5. Costo por Energía: Este parámetro refleja el costo asociado a la generación de energía, utilizando cada tipo de combustible. Puede variar según el mercado y la región.

6. Mantenimiento: Los motores que utilizan fuel oil suelen requerir más mantenimiento, debido a la naturaleza más pesada y viscosa del combustible, lo que puede llevar a un mayor desgaste.

7. Durabilidad del Motor: Los motores diésel suelen tener una vida útil más larga debido a su diseño y al tipo de combustible que utilizan.

8. Aplicaciones Comunes: Los diferentes tipos de combustibles son utilizados en diversas aplicaciones industriales y comerciales, lo que puede influir en la elección del combustible.

9. Impacto Ambiental: El impacto ambiental es un factor crítico a considerar, especialmente en el contexto actual de sostenibilidad y reducción de emisiones.

10. Caldera: Este valor es aproximado y pueden cambiar según el diseño de la caldera, las condiciones de la operación y el mantenimiento del equipo.

11. Motor: Este valor es aproximado y pueden cambiar según el diseño del motor, las condiciones de la operación y el mantenimiento del equipo.  
Análisis.

La elección entre fuel oil y diésel depende de múltiples factores, incluidos el costo, la eficiencia, las emisiones y las aplicaciones específicas. Esta tabla puede ayudar a comprender mejor cómo se comparan estos dos combustibles en términos de desempeño energético y consideraciones ambientales, al analizar el comportamientos por años, podemos observar cómo en los motores fuel oil, es más conveniente el trabajo para lo cual fue diseñado en cuanto al (IDEn).

### **3.2 Resultados antes de usar la matriz y los esperados una vez implantada la misma.**

La aplicación de una matriz de mantenimiento en una caldera acuatubular, puede generar diversos resultados comparativos, que permiten evaluar la efectividad de

las prácticas de mantenimiento implementadas. A continuación, se presentan algunos aspectos clave, que se pueden comparar antes y después de la aplicación de la matriz de mantenimiento:

#### 1. Disponibilidad Operativa:

- Antes: Puede haber un porcentaje de tiempo en que la caldera no está disponible debido a fallas o paradas no programadas.

- Después: Se espera una mejora en la disponibilidad operativa, con menos paradas inesperadas y un aumento en el tiempo de funcionamiento.

#### 2. Frecuencia de Fallas:

- Antes: Registro de un número elevado de fallas o incidentes relacionados con el funcionamiento de la caldera.

- Después: Reducción en la frecuencia de fallas, lo que indica una mejora en la confiabilidad del equipo.

#### 3. Costos de Mantenimiento:

- Antes: Costos altos asociados a reparaciones de emergencia y mantenimiento correctivo.

- Después: Posible reducción en los costos totales de mantenimiento debido a un enfoque más proactivo y preventivo.

#### 4. Eficiencia Energética:

- Antes: La caldera puede operar con una eficiencia menor debido a acumulación de suciedad, desgaste o mal funcionamiento.

- Después: Aumento en la eficiencia energética, lo que se traduce en un menor consumo de combustible y menores emisiones.

#### 5. Condiciones de Operación:

- Antes: Condiciones operativas inestables, variaciones en presión y temperatura.

- Después: Estabilidad en las condiciones operativas, lo que contribuye a un mejor rendimiento general.

#### 6. Cumplimiento Normativo:

- Antes: Posibles incumplimientos en regulaciones ambientales o de seguridad.
- Después: Mejora en el cumplimiento normativo, reduciendo riesgos legales y mejorando la reputación de la empresa.

#### 7. Satisfacción del Personal:

- Antes: El personal puede estar insatisfecho por problemas frecuentes y condiciones de trabajo inadecuadas.
- Después: Mejora en la satisfacción laboral debido a un ambiente más seguro y predecible.

#### 8. Documentación y Registro:

- Antes: Falta de un registro adecuado de actividades de mantenimiento y problemas.
- Después: Implementación de un sistema robusto de documentación que facilita el seguimiento y análisis continuo del rendimiento.

#### 9. Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF):

- Antes: Un MTBF bajo indica fallas frecuentes.
- Después: Un aumento en el MTBF refleja una mayor confiabilidad del sistema.

#### 10. Tiempo Medio Para Reparaciones (MTTR):

- Antes: Un MTTR alto puede indicar ineficiencias en el proceso de reparación.
- Después: Reducción en el MTTR gracias a mejores prácticas y preparación del personal.

Estos resultados comparativos pueden ser cuantificados y analizados para tomar decisiones informadas sobre futuras estrategias de mantenimiento y mejoras en la operación de la caldera.

### 3.3 Tabla comparativa con los IDEn) para el mantenimiento planificado vs a la matriz de mantenimiento.

A continuación se presenta una tabla comparativa con los IDEn para el mantenimiento planificado vs a la matriz de mantenimiento en las calderas acuotubulares.

**Tabla.3.2** Comparativa de (IDEn) para Mantenimiento Planificado

<b>IDEn</b>	<b>Descripción</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Responsable</b>
MTTR	Tiempo medio a reparación.	Mensual	Reducir el tiempo promedio de reparación.	Equipo de Mantenimiento.
MTBF	Tiempo medio entre fallos.	Anual	Aumentar el tiempo entre fallas.	Ingeniería.
Tasa de Disponibilidad	Porcentaje de tiempo operativo.	Mensual	Asegurar alta disponibilidad.	Operaciones.
Costo de Mantenimiento	Costo total de actividades de mantenimiento	Trimestral	Controlar y reducir costos.	Finanzas.

Satisfacción del Cliente	Evaluación del servicio	Semestral	Mejorar la percepción del cliente.	Servicio al Cliente.
--------------------------	-------------------------	-----------	------------------------------------	----------------------

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.3 .**Matriz de Mantenimiento para Calderas Acuotubulares.

<b>Actividad</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Tipo de Mantenimiento</b>	<b>Justificación</b>
Inspección Visual	Semanal	Preventivo	Detectar problemas visibles antes de que ocurran fallas.
Limpieza de Superficies	Mensual	Preventivo	Mantener la eficiencia térmica y evitar acumulación de residuos.
Revisión de Válvulas	Trimestral	Preventivo	Asegurar el correcto funcionamiento y evitar fugas.

Prueba de Presión	Semestral	Predictivo	Evaluar la integridad estructural y prevenir fallas catastróficas.
Reemplazo de Componentes	Anual	Correctivo	Sustitución programada para evitar fallos inesperados.

**Fuente:** Elaboración propia.

### **Justificación para el Mejoramiento.**

1. Reducción de Costos: Implementar un mantenimiento planificado permite anticipar y prevenir fallas, lo que reduce costos en reparaciones emergentes.
2. Aumento de la Eficiencia: Un programa de mantenimiento bien estructurado asegura que las calderas funcionen a su máxima eficiencia, mejorando la producción y reduciendo el consumo energético.
3. Seguridad: Las calderas acuatubulares pueden ser peligrosas si no se mantienen adecuadamente. Un buen plan de mantenimiento ayuda a mitigar riesgos asociados con fallas.
4. Satisfacción del Cliente: Mantener un alto nivel de disponibilidad y un buen desempeño operativo contribuye a la satisfacción del cliente y mejora la reputación de la empresa.
5. Cumplimiento Normativo: Un mantenimiento adecuado asegura que las calderas cumplan con las regulaciones y normativas vigentes, evitando sanciones y garantizando la seguridad operativa.

### **3.4 Propuesta de Matriz Mantenimiento de la caldera Acuatubular de los motores.**

**Tabla 3.4.** Propuesta de Matriz Mantenimiento.

**FECHA DE EMISIÓN: REVISIÓN: 00 PÁGINA: 01**

<b>Ejecutor (cargo o función):</b> Especialistas y personal calificado.	<b>No de Ejecutantes:</b> S/N							
<b>Dónde:</b> En las centrales de la Generación Distribuida de Cuba <b>Cuándo (ciclo):</b> N/P	<b>Tiempo de Ejecución:</b> S/C							
<b>Recursos Necesarios:</b> Herramientas para trabajo, Catálogos etc.								
<b>Cuidados Especiales:</b>								
<b>Aseguramiento de la Calidad:</b> Mantener alta disponibilidad y confiabilidad del equipamiento.								
<b>MATRIZ DE MANTENIMIENTO DE LA CALDERA ACUOTUBULAR</b>								
	<b>Diario</b>	<b>Semanal</b>	<b>Mensual</b>	<b>trimestral</b>	<b>Anual</b>	<b>Critico</b>	<b>Importante</b>	<b>Rutinario</b>
1	2	3	4	5	6	7	8	
<b>NIVEL DE PRIORIDAD 1</b>								
Inspección técnica que incluye la inspección interior, la medición Ultrasónica de espesores (MUE) cuerpo a presión.						X		
cálculo de resistencia mecánica del mismo						X		
Diseño y construcción de Calderas y Recipientes a presión.						X		
<b>Prueba Hidráulica.</b>						X		

I. Presión máxima del equipo: 10 Kg/cm <sup>2</sup>								
II. Presión de trabajo. 7 Kg/cm <sup>2</sup>								
III. Presión de prueba. 10 Kg/cm <sup>2</sup>								
IV. Presión de disparo válvulas de seguridad No.1 7.5 Kg/cm <sup>2</sup>								
V. Presión de disparo válvulas de seguridad No. 2. 10.0 Kg/cm <sup>2</sup>								
-*Espesor Del casco						X		
-* Radio interior.						x		
-* Eficiencia de la Unión soldada.						X		
-* Sobre espesor por corrosión.						X		
<b>Tipo de acero</b>						X		
-* Et.						X		
-*R20.						X		
-* Tensión admisible.						X		
-*Prueba de diseño.						X		
<b>NIVEL DE PRIORIDAD 2</b>								
Sistema de agua de alimentar							X	
Sistema de la caldera.							x	
Sistema de extracción de fondo y toma de muestra							x	
Sistema de vapor:							x	
Sistema de condensado.							x	
Sistema de sellaje de conductos y gases.							X	

NIVEL DE PRIORIDAD 3							
Mantenimiento diario:							X
- Verificación visual de la presión y temperatura del agua de alimentación.	X						X
- Inspección de fugas y funcionamiento de las válvulas de seguridad.	X						X
- Control de nivel de agua en la caldera.							X
- Verificación del funcionamiento adecuado de los sistemas de control y automatización.							X
Mantenimiento semanal:							
- Limpieza y revisión los Dámper..	X						
- Inspección visual de los tubos de la caldera en busca de incrustaciones, depósitos o daños.	X						
- Comprobación del funcionamiento de los sistemas de detección de fugas y alarmas.	X						
Mantenimiento mensual:							
- Pruebas de rendimiento para evaluar la eficiencia térmica y el funcionamiento general.		X					
- Análisis del agua de alimentación para detectar niveles inadecuados de minerales, oxígeno disuelto u otros contaminantes.		X					
- Inspección y limpieza de los sistemas de control y automatización.		X					
Mantenimiento trimestral:							
- Limpieza y desincrustación de los tubos de la caldera si es necesario.			X				
- Pruebas no destructivas para detectar posibles problemas estructurales o de			X				

corrosión. - Verificación del estado y la calibración de los instrumentos de medición.				X				
Mantenimiento anual: - Inspección interna completa de la caldera, incluyendo la inspección visual y pruebas no destructivas. - Revisión y mantenimiento de los sistemas de seguridad, incluyendo las válvulas de alivio y los dispositivos de protección contra sobrepresión. - Revisión y ajuste de los sistemas de control y automatización.					X			
					X			

**Fuente:** Elaboración propia.

Con la aplicación de la matriz de mantenimiento a calderas de la tecnología HYUNDAI HIMSEN 2.5 MW, ya que su producción de vapor depende del estado técnico, al emplearse para precalentar el combustible y reducir su viscosidad, antes de su atomización a la cámara de combustión del motor, esto influirá en la eficiencia del grupo electrógeno y claro de la caldera recuperadora de calor, es decir la capacidad de precalentar el combustible para mejorar IDEn de la caldera.

### 3.5 Inspección técnica a las calderas de la CE José Martí.

Mediciones en los diferentes puntos de las calderas.

Los puntos a los cuales se realizaron las mediciones.

**Tabla 3.5. Batería 1 Medición No.1**

Punto de medición	No. De Mediciones			Mínimo
	1	2	3	
<b>Tapa delantera</b>				
1	11.12	11.02	10.95	

2	10.64	10.55	10.60	10.60
3	11.44	11.81	11.33	
4	11.16	11.04	10.91	

**Tabla 3.6 Batería 1 Medición No.2**

Punto de medición	No. De Mediciones			Mínimo
	1	2	3	
<b>Tapa trasera</b>				
1	10.37	10.34	10.26	
2	10.61	10.70	10.64	10.26
3	11.37	11.35	11.34	
4	11.83	11.79	11.70	

**Tabla 3.7. Batería 1 Medición No.3**

Punto de medición	No. De Mediciones			Mínimo
	1	2	3	
<b>Envolvente sección I</b>				
1	9.53	9.50	9.47	
2	10.33	10.46	10.38	9.47
3	10.33	10.29	10.32	
4	11.22	11.16	11.33	

**Tabla 3.8. Batería 1 Medición No.4**

Punto de medición	No. De Mediciones			Mínimo
	1	2	3	
<b>Envolvente sección II</b>				
1	10.44	10.29	10.58	
2	10.64	10.55	10.60	10.29

3	11.67	10.91	10.72	
4	11.22	11.16	11.33	

**Tabla 3.9. Batería 1 Medición No.5**

Punto de medición	No. De Mediciones			Mínimo
	1	2	3	
<b>Cabezal Superior</b>				
1	10.53	10.46	10.47	
2	10.57	10.51	10.55	10.47

**Tabla 3.10. Batería 1 Medición No.6**

Punto de medición	No. De Mediciones			Mínimo
	1	2	3	
<b>Cabezal Inferior</b>				
1	7.89	7.90	7.88	
2	8.01	8.02	8.00	7.88

**Fuente:** Datos recopilados de la empresa Alastor.

### **Cálculos de resistencia.**

Cálculo de Recipientes según ASME 1992.

Diseño y construcción de Calderas y Recipientes a presión.

Recipiente: Caldera de Vapor Recuperativa Batería No.1

Datos generales.

Et: Valor mínimo garantizado del límite de influencia convencional al 0.2 % a la temperatura T.

R20: Valor mínimo garantizado del límite elástico convencional a temperatura ambiente.

Módulo de Young a la temperatura de Cálculo

195000 N/mm<sup>2</sup>

**Tabla 3.11. Batería 1 Medición No.7**

**Envolvente**

	Nuevo	Actual	U/M
Espesor del Casco	12.0	9.47	mm
Radio Interior	450	450	mm
Eficiencia de unión soldada	0.85	0.85	
Sobre espesor por corrosión	1	1	mm
Tipo de acero	Acero 20K	Acero 20K	
Et	20.29	20.29	Kg/cm <sup>2</sup>
R20	41.00	41.00	Kg/cm <sup>2</sup>
Tensión admisible	12.68	12.68	Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Resultados</b>			
<b>Envolvente</b>			
Presión de diseño	26.49	20.44	Kg/cm <sup>2</sup>
Presión de trabajo	23.84	18.40	Kg/cm <sup>2</sup>

**Fuente:** Datos recopilados de la empresa Alastor

**IV -\*Prueba Hidráulica.**

- Presión máxima del equipo: 10 Kg/cm<sup>2</sup>
- Presión de trabajo. 7 Kg/cm<sup>2</sup>
- Presión de prueba. 10 Kg/cm<sup>2</sup>
- Presión de disparo válvulas de seguridad No.1 7.5 Kg/cm<sup>2</sup>
- Presión de disparo válvulas de seguridad No. 2. 10.0 Kg/cm<sup>2</sup>

La prueba realizada obtuvo resultados satisfactorios.

**Caldera de la Batería No 2**

Los puntos a los cuales se realizaron las mediciones.

**Tabla 3.12. Batería 2 Medición No.1**

.Punto de medición	No. De Mediciones			Mínimo
	1	2	3	
Tapa delantera				
1	11.61	11.70	11.64	
2	10.83	10.56	10.65	10.56
3	11.37	11.35	11.79	
4	11.26	11.35	11.45	

**Tabla 3.13. Batería 2 Medición No.2**

Punto de medición	No. De Mediciones			Mínimo
	1	2	3	
Tapa trasera				
1	10.25	10.27	10.32	
2	10.50	10.55	10.52	10.26
3	11.26	11.35	11.34	
4	11.76	11.79	11.69	

**Tabla 3.13. Batería 2 Medición No.3**

Punto de medición	No. De Mediciones			Mínimo
	1	2	3	
Envolvente sección I				
1	10.36	10.40	10.46	
2	10.33	10.46	10.38	9.62
3	9.63	9.67	9.62	
4	11.22	11.06	11.15	

**Tabla 3.14. Batería 2 Medición No.4**

Punto de medición	No. De Mediciones			Mínimo
	1	2	3	
Envolvente sección II				
1	10.43	10.36	10.40	
2	11.16	10.18	10.52	10.32
3	11.26	10.35	11.34	
4	11.76	11.79	11.69	

**Tabla 3.15. Batería 2 Medición No.5**

Punto de medición	No. De Mediciones			Mínimo
	1	2	3	
Cabezal Superior				
1	10.52	10.57	10.55	
2	9.12	9.20	9.14	9.12
Punto de medición	No. De Mediciones			Mínimo
	1	2	3	
Cabezal Inferior				
1	8.39	8.38	8.32	
2	8.27	8.28	8.23	8.23

**Fuente:** Datos recopilados de la empresa Alastor

**III -Cálculos de resistencia.**

Cálculo de Recipientes según ASME 1992.

Diseño y construcción de Calderas y Recipientes a presión.

Recipiente: Caldera de Vapor Recuperativa Batería No.1

Datos generales.

Et: Valor mínimo garantizado del límite de influencia convencional al 0.2 % a la temperatura T.

R20: Valor mínimo garantizado del límite elástico convencional a temperatura ambiente.

Módulo de Young a la temperatura de Cálculo

195000 N/mm<sup>2</sup>

**Tabla 3.16. Batería 2 Medición No.6**

Envolvente

	Nuevo	Actual	U/M
Espesor del Casco	12.0	9.62	mm
Radio Interior	450	450	mm
Eficiencia de unión soldada	0.85	0.85	
Sobre espesor por corrosión	1	1	mm
Tipo de acero	Acero 20K	Acero 20K	
Et	20.29	20.29	Kg/cm <sup>2</sup>
R20	41.00	41.00	Kg/cm <sup>2</sup>
Tensión admisible	12.68	12.68	Kg/cm <sup>2</sup>
Resultados			
Envolvente			
Presión de diseño	26.49	20.80	Kg/cm <sup>2</sup>
Presión de trabajo	23.84	18.72	Kg/cm <sup>2</sup>

**Fuente:** Datos recopilados de la empresa Alastor

#### IV -\*Prueba Hidráulica.

- Presión máxima del equipo: 10 Kg/cm<sup>2</sup>
- Presión de trabajo. 7 Kg/cm<sup>2</sup>
- Presión de prueba. 10 Kg/cm<sup>2</sup>

- Presión de disparo válvulas de seguridad No.1 7.5 Kg/cm<sup>2</sup>
- Presión de disparo válvulas de seguridad No. 2. 10.0 Kg/cm<sup>2</sup>

**La prueba realizada obtuvo resultados satisfactorios.**

### **3.6 Estudio de Gases realizado en la CE José Martí.**

Los resultados obtenidos se presentan de forma numérica con salida gráfica. Se muestran las concentraciones incrementales de los contaminantes atmosféricos en el dominio de modelación, como Isolíneas de concentración máxima y promedios, cuando se superan las concentraciones máximas admisibles o se incumple la norma.

No ocurre violación de las normas en la emisión de los contaminantes en ninguna fuente del emplazamiento. En la estimación (modelación) de la dispersión de los contaminantes encontramos que se superan los valores normados en concentración (concentración máxima admisible) en los NO<sub>x</sub> en el período de 1 hora. No hay incumplimiento de la norma de Calidad de Aire.

La información numérica se complementa con las isolíneas de concentración máximas, de las cuales mostramos en la figura las correspondientes al monóxido de carbono, para 1 hora, contaminante donde se superan los valores normados.



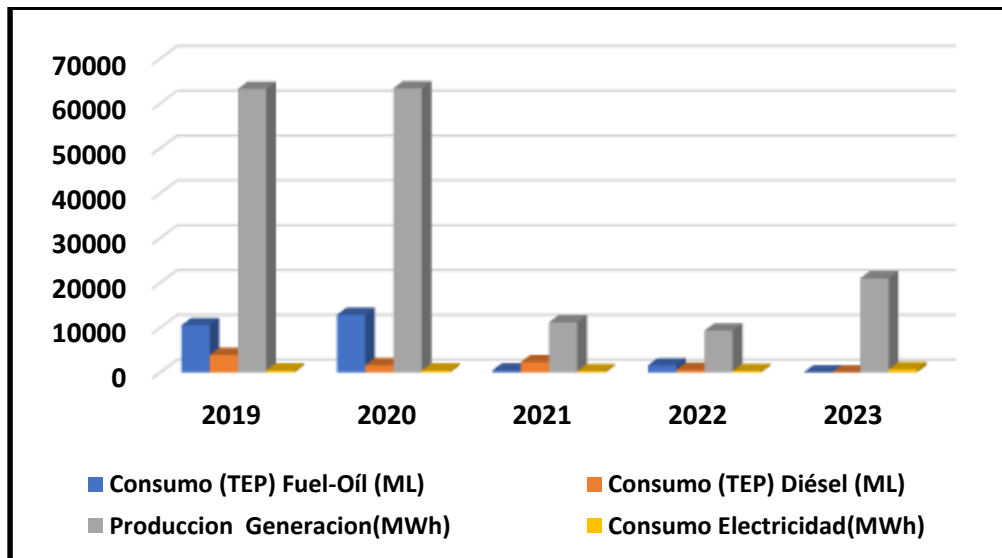
**Figura 8: Isolíneas. Fuente: Elaboración propia.**

### 3.7 Análisis Económico del comportamiento del consumo de combustible y generación.

**Tabla 3.17** Consumo de combustibles, electricidad y Generación de Energía

Consumo (TEP)			Producción	Consumo
Años	Fuel-oil (TEP )	Diésel (TEP)	Generación (MWh)	Consumo Electricidad (MWh)
2019	10529,8	3882,38	63240,3	419,4
2020	12827,63	1593,53	63376,9	415,8
2021	459,72	2.293	11159,2	282,8
2022	1.576	586,45	9336,2	340
2023	0	4922.89	21004,9	689,66

**Fuente:** Propia, recopilada del departamento de operaciones EMGEF



**Figura 8.** Gráfico consumo (TEP) vs Producción de Energía (MWh). Fuente de elaboración propia.

En la figura se muestra el comportamiento gráfico del consumo de combustible y la producción de electricidad a través de los años, mediante la correlación de las variables.

Consumo de Fuel-oil: El consumo de fuel-oil presenta una tendencia decreciente a lo largo de los años, comenzando en 10529.8 TEP en 2019 y llegando a 0 en 2023.

Esto conlleva a una transición significativa hacia el uso de combustibles alternativos, favoreciendo el diésel, teniendo un impacto en el costo, puesto que el diésel es más caro que el fuel oil, así como en la incidencia en la baja eficiencia de los motores con averías repetitivas y los costos se elevan al tener que buscar soluciones en la sustitución y reparación de piezas para los mismos.

Consumo de Diésel: En contraste con el fuel-oil, el consumo de diésel muestra un aumento notable hasta 2023, donde se alcanza un valor de 4922.89 ML. La dependencia del diésel fue crítica para la operación continua de la planta, especialmente dada bajo del consumo de fuel-oil.

Generación (MWh): La generación de energía experimenta variaciones. En 2019 y 2020, la generación es bastante alta (63240.3 MWh y 63376.9 MWh respectivamente), pero hay una notable disminución en 2021 y 2022, con valores de 11159.2 MWh y 9336.2 MWh. En el año 2022 la generación fue afectada por la parada en cero de la Planta producto al incendio de la Base de Supertanqueros de Matanzas, Sin embargo, 2023 muestra un repunte considerable en la generación a 21004.9 MWh a pesar de que no se cumplió con los planes, como ya se argumentó anteriormente que fue recuperándose de la parada por el incendio, sin la utilización del fuel-oil.

Consumo de): Electricidad (MWh El consumo de electricidad también muestra fluctuaciones en esos años. Se observa que, aunque la generación general disminuyó en 2021 y 2022, hay un aumento del consumo en 2023 con 689.66 MWh, en este año se utilizaron equipos altos consumidores de electricidad para la recuperación, y otros equipos que perdieron su automatización tras el incendio como los ventiladores de los radiadores, lo que indica un impacto en términos de costos operativos, consumos y sostenibilidad ambiental.

Análisis de tendencias: Se puede observar que la central eléctrica ha reducido drásticamente su uso de fuel-oil y ha aumentado el uso de diésel, lo que indica la dependencia del mismo y el deterioro de los motores aumenta, lo que implica una mejora en la tecnología de generación, las purificadoras en óptimas condiciones, así como las calderas y en la gestión eficiente de la planta.

**Las principales interrupciones ocurridas en los períodos fueron:**

- F/S por altas temperaturas de los cilindros
- F/S por fuga de combustible y aceite
- F/S por alta temperatura del agua de enfriamiento
- F/S por falta de filtros de aceite.
- F/S por falta de aceite -causa externa
- La calidad de los controles operacionales y mantenimiento por parte del personal de la CE no fueron suficiente, por lo que incide en la preparación y las faltas de recursos.

La LBE permite establecer de forma idealizada el consumo de energía no asociada a la variable dependiente y permite establecer un indicador de consumo que ayuda a desarrollar la etapa de implementación y seguimiento de forma adecuada, se establece el periodo de referencia en el cual se mostraron valores significativos eficientes después de las acciones para la mejora:

$$E = mP + E0 \quad (3.1)$$

**Tabla 3.18** Indicadores energéticos

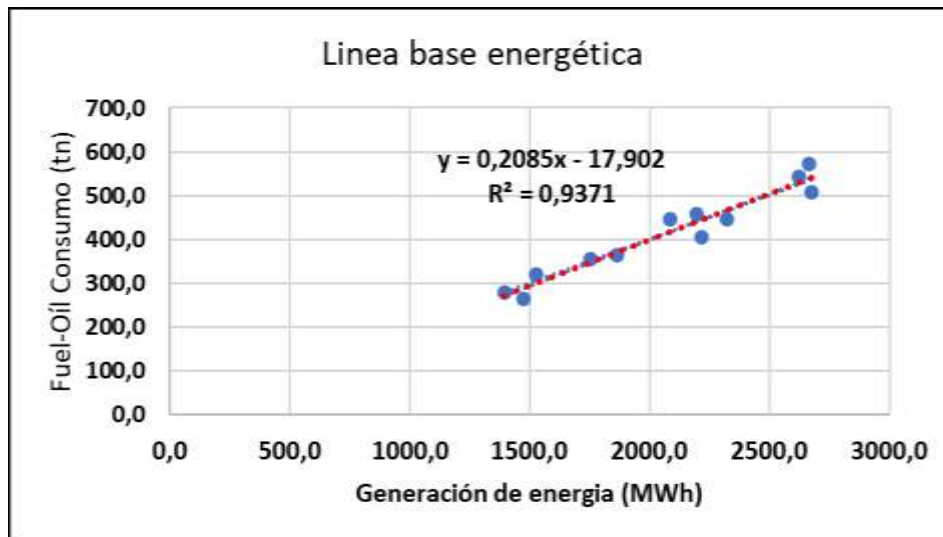
Meses	Fuel-oil Consumo (tn)	Diésel Consumo (tn)	Generación (MWh)
E	279,3	17,0	1392,9
F	405,2	73,8	2219,3
M	506,4	71,4	2675,8
A	444,5	57,3	2321,0
M	353,5	25,4	1754,0
J	543,3	19,5	2622,4
J	457,0	17,4	2197,6
A	444,9	11,6	2085,5
S	573,4	9,7	2664,2
O	262,5	57,7	1472,2
N	364,2	42,9	1862,1
D	320,8	12,7	1528,2
Total	4955,1	416,4	24795,1

**Fuente:** Elaboración propia

La línea base se construye a partir de la energía consumida y la producción equivalente.

Utilizar el método de los mínimos cuadrados para determinar el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) entre E y P y trazar la línea de mejor ajuste.

El registro sistemático de consumo de combustible - producción de Energía a través del tiempo, Tabla 3.18.



**Figura 9** La línea base Energética a partir de la energía Generada y el consumo equivalente

La ecuación de consumo es representada por la siguiente ecuación:

$$E = mP + E_0 \quad (3.1)$$

$$E = 0,2085 P + 17.902 \quad (3.2)$$

$$R^2 = 0,9371$$

De acuerdo con la ecuación **3,2** obtenida de la LBEn, se tiene que 17.902TEP pertenecen a consumo combustible no asociado a la producción, arranques en negro del grupo de la planta, los arranques de los motores que se realizan con diésel y para el lavado de las piezas durante el mantenimiento.

De acuerdo con la línea base el indicador de producción es 0,2085 [MWh/Ton], que esta referenciado a la producción de energía.

El coeficiente de determinación es de 0.9371, por lo que se cataloga como un coeficiente de determinación muy fuerte.

El consumo específico de combustible es de 215.4g/KWh.

#### Definición de Indicadores de Eficiencia Energética

- Índice de Eficiencia Energética (IEE): Este índice será útil para evaluar la eficiencia energética general de la CE.

Consumo Total de combustible: 5342,77TEP

$$IEE = \frac{\text{Producción de Energía (MWh)}}{\text{Consumo Total de Combustible (TEP)}} \quad (3.3)$$

$$IEE = \frac{24795.1\text{MWh}}{5342,77\text{ TEP}} = 4.64 \quad \text{MWh/TEP} \quad (3.4)$$

- Reducción del Consumo Específico:

Se deben establecer metas para reducir el consumo específico de combustible en un porcentaje determinado cada año.

Establecimiento de Metas:

- Basado en los indicadores calculados, establece metas específicas y alcanzables.

Por ejemplo:

- ✓ Reducir el consumo específico de FUEL en un 5% en el próximo año.

Monitoreo y Ajustes

- Implementar un sistema de monitoreo continuo para seguir el consumo de combustible y la producción de energía.

- Ajustar las operaciones y estrategias según sea necesario para alcanzar las metas establecidas.

Informes y Revisión

- Realizar informes periódicos sobre el desempeño en relación con los indicadores establecidos.

- Revisar y ajustar las metas anualmente basándose en los resultados obtenidos.

Con esta metodología se puede establecer una línea base del consumo y definir indicadores que ayuden a mejorar la eficiencia energética en la central eléctrica, y según la norma ISO 500001, la mejora continua es clave para alcanzar las metas.

### **3.8 Conclusiones parciales del Capítulo.**

Una vez finalizado el presente capítulo, se ha podido arribar a las siguientes conclusiones.

- Primero, se presenta una evaluación exhaustiva de cómo la implementación de una matriz de mantenimiento impacta en el índice de desempeño energético de calderas acuotubulares, que operan con motores Hyundai de Fuel oil de 2,5 MW. Este apartado se centra en la recopilación de datos obtenidos de las pruebas realizadas y el seguimiento de parámetros clave antes y después de aplicar la matriz.
- Se inician con descripciones claras de los métodos de análisis utilizados, incluyendo análisis estadístico y comparativo, para medir la efectividad de las intervenciones de mantenimiento. Se destacan aspectos como la eficiencia energética, las emisiones de gases y el consumo de combustible. Los resultados se presentan en tablas y gráficos que ilustran mejoras significativas en el rendimiento tras la aplicación de la matriz.
- Además, se discuten las correlaciones entre un mantenimiento adecuado y la reducción de fallas, así como el aumento en la vida útil de los equipos. En conclusión, este capítulo argumenta que la matriz de mantenimiento es una herramienta efectiva para optimizar el rendimiento energético de las calderas e impulsar la sostenibilidad en la operación de estas instalaciones.

## **4 Conclusiones.**

Como resultado final del trabajo desarrollado, se ha podido arribar a las siguientes conclusiones:

- ❖ Se logra analizar el estado actual de las matrices de mantenimiento en diferentes organizaciones y determinar en qué medida están alineadas con las mejores prácticas de gestión energética.
- ❖ Se evaluó el impacto de las diferentes estrategias de mantenimiento (preventivo, predictivo y correctivo) en el comportamiento del índice de desempeño energético de los equipos y sistemas utilizados por las organizaciones.
- ❖ Se identificaron las barreras y oportunidades que enfrentan en las calderas al implementar una matriz de mantenimiento orientada a la eficiencia energética.
- ❖ Se propone un modelo de integración entre la matriz de mantenimiento y el índice de desempeño energético que sirva como guía para la toma de decisiones.
- ❖ Se desarrollaron un conjunto de indicadores de desempeño energético, que permitan medir la efectividad de su matriz de mantenimiento, en relación con el uso energético, facilitando así la monitorización y mejora continua. El consumo de fuel-oil presenta una tendencia decreciente a lo largo de los años, comenzando en 10529.8 TEP en 2019 y llegando a 0 en 2023. Esto conlleva a una transición significativa hacia el uso de combustibles alternativos, favoreciendo el diésel, teniendo un impacto en el costo, puesto que el diésel es más caro que el fuel oil, así como en la incidencia en la baja eficiencia de los motores con averías repetitivas y los costos se elevan al tener que buscar soluciones en la sustitución y reparación de piezas para los mismos.

## 5. Recomendaciones.

Con el propósito de introducir en la realización de futuros trabajos, que enriquezcan el resultado de la presente investigación, se plantean las siguientes recomendaciones:

1. Proponer a la dirección realizar una valoración de las propuestas de mejora presentadas, en aras de ser aplicadas en la empresa.
2. Propagar el procedimiento propuesto al resto del equipamiento de la empresa, analizando la factibilidad de su implantación, considerando las modificaciones que en cada caso pudieran ser necesarias.

## 6. Bibliografías.

1. Fonte, P. Nemirovich y R. González, Cálculo de la pérdidas de calor y del espesor del aislante, Camagüey, Cuba: Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Camagüey, 1986, pp. 6-12.
2. Pérez, "Cálculo de las pérdidas de calor y el espesor óptimo del aislante para tuberías tanto horizontales como verticales," Universidad de Camagüey, Versión 1.3, 2013.
3. ATECYR. Guía técnica sobre procedimiento de inspección periódica de eficiencia energética para calderas, Madrid, España: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2007, pp. 8-17.
4. Álvarez Santana, J. A. (2020). Aplicación de herramientas para sistemas de gestión de energía acorde a la norma ISO 50001 en la UEB Vías y Puentes Colón (Doctoral dissertation, Universidad de Matanzas. Facultad de Ciencias Técnicas).
5. Álvarez Santana, J. A. (2020). Aplicación de herramientas para sistemas de gestión de energía acorde a la norma ISO 50001 en la UEB Vías y Puentes Colón (Doctoral dissertation, Universidad de Matanzas. Facultad de Ciencias Técnicas).
6. Bernabé, Miguel Wilfredo. 2020. Gestión de la eficiencia energética según la ISO 50001 para mejorar el consumo eléctrico en la Ladrillera Sagitario,

- Lima 2020. [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo], Lima: Repositorio de la Universidad Cesar Vallejo, 2020.
7. Calidad del agua — Determinación de la suma de calcio y magnesio — Método por valoración con EDTA (ISO 6059:1984, IDT), NC ISO 6059, 2010.
  8. Calidad del agua — Determinación del contenido de calcio — Método por valoración con EDTA (ISO 6058: 1984, IDT), NC ISO 6058, 2009.
  9. Carranza, Marko and Rivera, Carmen. 2020. Desarrollo de un sistema de gestión energética basado en la norma ISO 50001 para reducir el consumo de energía eléctrica en la Universidad Privada Antenor Orrego - Trujillo [Tesis de Licenciatura, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio Institucional, s.l. :2020.
  10. Carballo Torres, M. X., Cristales Armas, M. O., & Ramírez Meléndez, O. E. (2019). Diseño de un sistema de gestión energética basado en la norma ISO 50001 para la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador (Doctoral dissertation, Universidad de El Salvador).
  11. Colectivos de autores. Manual de Gestión (MAGEST) de Generación Distribuida, así como el Manual de Instrucciones del Motor Diesel de cuatro tiempos. HYUNDAI- HIMSEN 9H 25/33, Volumen V.
  12. Correa Soto, J., González Pérez, S., & Hernández Alonso, Á. (2018). La gestión energética local: elemento del desarrollo sostenible en Cuba. *Revista Universidad y Sociedad*, 9(2), 59-67.
  13. CUJAE, "Contamin," Universidad Tecnológica M. J. Lapidó, D. A. Vidal, y J. A. Madrigal, Funcionamiento y pérdidas en calderas. Estudios de casos, Cienfuegos, Cuba: Editorial "Universo Sur", 2015, pp. 12-27.
  14. (<https://www.openia.com/chatgot> 2024).
  15. Crespo Sánchez, G. (2020). Implementación de la etapa de Planificación Energética de la Norma ISO 50001, en la Batería de Grupos Electrónicos de la Refinería de Petróleo de Cienfuegos [Tesis de Diploma Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez"].
  16. Crespo Sánchez, G., Monteagudo Yanes, J. P., Montesino Pérez, M., Cruz Viroso, I., & Cabrera Sánchez, J. L. (2019). La gestión energética en la

- fabricación de piensos balanceados en Cienfuegos. Revista Universidad y Sociedad, 11.
17. De la O Levis Vicente Antonio. Folleto MINED 07092024.
  18. Díaz-Rosales, A., Oropesa-Márquez, Y. & Cecilia-Simón, N. (2023). Gestión energética en la Empresa de Mantenimiento a Grupos Electrógenos Fuel-oil de Pinar del Río, Cuba. IPSA Scientia, revista científica multidisciplinaria, 8(3), 48-62. <https://doi.org/10.62580/ipsc.2023.8.15> .
  19. Hernández M.J. 2019 Evaluación del Desempeño Energético en una empresa de autopartes, como base para la implementación de un Sistema de Gestión de la Energía, Tesis de Maestría. México.
  20. Jaffe, A. (2011). El creciente apetito por petróleo y gas natural de los países en desarrollo. Tampa, Florida: Instituto de estudios energéticos.
  21. M. A. Aguilar, “Estudio de la eficiencia energética y de combustión de una caldera utilizada en una planta de fabricación de alimentos y propuesta para incrementar la eficiencia de operación,” Tesis de Diploma, Facultad de Ingeniería, Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2015.
  22. Navarro Enrique Curso para puesta en marcha del sistema de vapor-condensado de los GE 2,5 MW HYUNDAI, Versión 3.0. 2020.
  23. Norma ISO 17359:2018 Monitoreo de la condición y diagnóstico de máquinas –Directrices generales.
  24. Norma ISO 14224:2016 - Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment.
  25. P. Rodríguez, “Sistema de Análisis de Eficiencia para Generadores de Vapor,” MEP, Versión 2.0, 2006.
  26. R. F. Guiza, y V. H. Rangel, “Metodología para determinar la eficiencia energética de calderas de baja potencia,” Verano de la Investigación Científica, vol. 3, no. 2, pp. 2628-2634, 2017.
  27. R. Jiménez, M. J. Lapidó, J. A. Madrigal, y D. A. Vidal, “Método para la evaluación de la eficiencia e impacto ambiental de un generador de vapor,” Ingeniería Energética, vol. XXXVII, no. 2, pp. 135-144. mayo-agosto 2016.

28. Sánchez C.R. 2020. Mantenimiento Basado en Riesgos para el motor de tecnología MAN B&W Diesel de la Central Eléctrica Sancti Spíritus. Tesis de Grado.
29. Rodríguez, Abel Rodríguez. (2020) Implementación de la etapa de Planificación Energética de la Norma ISO 50001, en la Batería de Grupos Electrógenos de la Refinería de Petróleo de Cienfuegos.
30. Poveda Flores, R. (2018). Disminución del consumo específico de combustible en los motores Hyundai 9H25/33S del emplazamiento “Antonio Briones Montoto” perteneciente a la EMGEF de Pinar del Río.

## **7. Anexos**

### **Anexo 1**

#### **Tabla .18 Procedimientos**

OPERACIONES A REALIZAR EN LOS MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS PLANIFICADOS A LOS EQUIPOS AGREGADOS DE LA CALDERA DE RECUPERACIÓN DE GASES DE ESCAPE DE LAS CENTRALES ELÉCTRICAS EQUIPADAS CON MOTORES HYUNDAI- HIMSSEN 9H 25/33

INSTRUCCION RELACIONADA	DESCRIPCION	INTERVALOS DE REVISION										COMENTARIOS			
		1 000	2 000	4 000	6 000	8 000	10 000	12 000	14 000	16 000	18 000		20 000	22 000	0
Sistema de circulación gases.															
Compuerta neumática (Dámper 500 A y 1 000 A)															
FG-IM 0092	Limpieza e inspección.		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Reemplazar elementos si es necesario.
	Inspección del interruptor límite y posicionador.					■					■			■	
	Chequeo de la presión del aire de alimentación. Limpieza de la línea interior de válvulas.					■					■			■	
	Cambio junta de sellaje de la compuerta.				■			■			■			■	
	Inspección visual y engrase de los cojinetes superior e inferior.			■		■		■		■		■		■	Cambio de cojinetes de ser necesario.
	Cambio de los cojinetes superior e inferior.										■				
	Cambio de los anillos de sellaje del accionador.										■				
Soplador de hollín.															
FG-IM 0091	Limpieza e inspección de válvulas, incluyendo la válvula de seguridad.					■				■				■	
	Inspección de Mecanismo de engranaje y cojinetes.					■				■				■	
	Rellenado de aceite lubricante					■				■				■	
	Limpieza e inspección del limitador.					■				■				■	
Sustitución de aceite.															
Sustitución del asiento de la válvula.															
Ajuste de la presión de soplado.															

Fuente: Datos recopilados los documentos del Sistema de gestión de la Empresa.

Continuación anexo 1



**Tabla 3.19**

ANEXO *FG-PM 0205.A1* \*Operaciones a realizar en los mantenimientos preventivos planificados a los equipos agregados de la caldera de recuperación de las Centrales Eléctricas con motores HYUNDAI

⊕ HIMSEN 9H 21/32".

INSTRUCCIÓN RELACIONADA	DESCRIPCION	INTERVALOS DE REVISION										COMEN TARIOS			
		1 000	2 000	4 000	6 000	8 000	10 000	12 000	14 000	16 000	18 000		20 000	22 000	
Sistema de circulación gases.															
Compuerta neumática (Dámper 500 A y 1 000 A)															
FG-IM 0212	Limpieza e inspección.		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	Reemplazar elementos si es necesario.
	Inspección del interruptor límite y posicionador.					■								■	
	Chequeo de la presión del aire de alimentación. Limpieza de la línea interior de válvulas.			■		■		■		■		■		■	
	Cambio junta de sellaje de la compuerta.					■				■				■	
	Inspección visual y engrase de los cojinetes superior e inferior.			■		■		■		■		■		■	Cambio de cojinetes de ser necesario.
	Cambio de los cojinetes superior e inferior.					■				■				■	
	Cambio de los anillos de sellaje del accionador.					■				■				■	
Ventilador de sellado de la caldera.															
-	Inspección de los aprietes de pernos de uniones motor/bancada, bomba/bancada.					■							■	Verificar estado del apriete.	
FG-IM 0901	Inspección y mantenimiento de todos sus elementos.					■							■	Instrucción de mantenimiento eléctrica.	
Soplador de hollín 9KB.															

Tabla 3.20

ANEXO FG-PM 0206.A1 "Operaciones a realizar en los mantenimientos preventivos planificados a la caldera recuperadora de gases de escape marca Kang Rim de las Centrales Eléctricas de los motores HYUNDAI HIMSEN 9H 21/32".

INSTRUCCIÓN RELACIONADA	DESCRIPCIÓN	INTERVALOS DE REVISIÓN										COMENTARIOS	
	■: Revisiones planificadas. ◊: Confirmar después de revisión o nuevo.	2000	4000	6000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000		22000
	TIEMPO DE EJECUCIÓN DE CADA MANTENIMIENTO. (Días.)												
Caldera recuperadora de gases de escape marca Kang Rim.													
Cuerpo de la caldera													
FG-IM 0210	Inspección visual a la superficie exterior y estructura de la caldera.	◊	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Sujeciones del cuerpo de la caldera.													
	Reapriete de todas las sujeciones principales de la estructura y unión de la caldera.		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Puestas de acceso a la caldera.													
FG-IM 0210	Inspección visual de los espárragos, tuercas, sujeciones y juntas.	◊	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Cambio de juntas.			■			■		■			■	
Paredes interiores del domo y el cenicero.													
FG-IM 0210	Limpieza mecánica y con agua a presión.	◊		■			■		■			■	
	Inspección visual de las paredes interiores.	◊		■			■		■			■	
Haz de tubos y sus uniones.													

Fuente: Datos recopilados los documentos del Sistema de gestión de la Empresa.