



UNIVERSIDAD
DE CIENFUEGOS
CARLOS RAFAEL RODRÍGUEZ



UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS
INGENIERÍA



*Tesis presentada en opción al título de
Ingeniero Industrial*

*Título: Estrategias de eficiencia en el sistema
de generación de vapor de la Empresa de
Servicios Técnicos y Especializados
Cienfuegos.*

Autora: Adriana Rocío Vilaseca Guerra

Tutora: Dra. Liz Belkis Rosabal Ponce

Ing. Diana Laura Martín Fernández

Curso 2023

Pensamiento

“Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber”.

Albert Einstein

Dedicatoria

“Dedico esta tesis a mis padres, por su incansable lucha y sacrificios en cada paso de mi vida; por ser mi pilar y apoyo incondicional en todo momento e impulsarme a formarme como profesional.

Y a todos mis familiares y amigos, por sus sabios consejos y palabras de aliento que de una u otra forma me acompañan en todas mis metas.”

Agradecimientos

Le agradezco a Dios porque sin él yo no pudiese ser la persona que soy hoy, por escuchar mis oraciones y guiarme en cada paso.

A mis padres que siempre me han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos. Ellos son los que con su cariño me han impulsado siempre a perseguir mis metas y nunca abandonarlas frente a las adversidades.

A mis hermanos por estar siempre para mí y ayudarme en cada momento de este largo camino.

A mi familia en general, que con paciencia ha soportado mis abandonos, mis lejanías, mis momentos de crisis y mis desvelos. En especial a mi tía Ana Ricci, por hacer mis problemas los suyos y ayudarme a cumplir mis objetivos como persona y como estudiante.

A mis suegros por acogerme como una hija y darme fuerzas para seguir adelante en mi carrera a pesar de todos mis tropiezos.

A mi novio, por sus días de desvelo a mi lado, por su amor incondicional y por ser mi fortaleza en mis momentos de debilidad.

A mi tutora, Liz Belkis Rosabal Ponce le agradezco muy profundamente por su dedicación y paciencia, sin sus palabras y correcciones precisas no hubiese podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada. Gracias por estar siempre para mí, en esos momentos de desesperación, por encontrar las palabras perfectas y darme la seguridad

de que podría alcanzar este sueño, cada detalle lo llevaré grabados para siempre en la memoria y vivirán eternamente tatuados en mi corazón.

A mi tutora Diana Laura Martín Fernández, que, a pesar de ser tan joven, con su inteligencia y dedicación me guio de forma sabia y segura. A mis compañeros de trabajo por tenerme paciencia y ayudarme en cada momento.

A mis compañeros de aula, los de aquí y los de Santiago, gracias por las horas compartidas, los trabajos realizados en conjunto y las historias vividas.

A mis mejores amigos, que todo el tiempo estuvieron para mí, apoyándome y ayudándome a realizar este gran proyecto.

Les agradezco a todas las personas que han hecho que este sueño sea posible.

A todas ellas mi agradecimiento y siempre tendrán un lugar especial en mi corazón.

Gracias.

RESUMEN

La eficiencia energética tiene un papel clave en el desarrollo económico sostenible. Esta investigación tiene como objetivo proponer estrategias de eficiencia en el sistema de generación de vapor de la Empresa de Servicios Técnicos y Especializados de Cienfuegos, a partir de un diagnóstico energético. El estudio se apoyó en pruebas termográficas, cálculos analíticos de la eficiencia, la revisión bibliográfica y herramientas de la ingeniería industrial, como el diagrama de Pareto e Ishikawa. La combinación de estos métodos permitió identificar problemas de incompatibilidad del quemador con la caldera, altas temperaturas en las superficies del generador de vapor y en los gases de salida, además de dificultades en la operación, el mantenimiento, y en la preparación del personal, entre las causas principales de los sobreconsumos de combustible. Como resultado del diagnóstico, se proponen estrategias, destacándose la sustitución del quemador actual como una de las medidas principales, por su contribución a la reducción de los consumos y de los costos operativos. Las estrategias apuntan a generar impactos significativos, tanto en términos económicos como ambientales, posicionándose como acciones clave para el logro de la eficiencia y la sostenibilidad en la empresa.

Palabras claves: eficiencia energética, caldera, quemador.

SUMMARY

Energy efficiency plays a key role in sustainable economic development. This research aims to propose efficiency strategies in the steam generation system of the Cienfuegos Technical and Specialized Services Company, based on an energy diagnosis. The study was supported by thermographic tests, analytical calculations of efficiency, literature review and industrial engineering tools, such as the Pareto and Ishikawa diagram. The combination of these methods allowed us to identify problems of incompatibility of the burner with the boiler, high temperatures on the surfaces of the steam generator and in the exhaust gases, in addition to difficulties in operation, maintenance, and in the preparation of personnel, among others. the main causes of fuel overconsumption. As a result of the diagnosis, strategies are proposed, highlighting the replacement of the current burner as one of the main measures, due to its contribution to reducing consumption and operating costs. The strategies aim to generate significant impacts, both in economic and environmental terms, positioning themselves as key actions for achieving efficiency and sustainability in the company.

Keywords: energy efficiency, boiler, burner.

Índice	
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	6
1. Eficiencia en la generación de vapor	6
1.1. Estrategias en calderas pirotubulares	8
1.1.1. Generalidades del proceso de combustión	11
1.1.2. Importancia de la eficiencia en la gestión energética empresarial	14
1.2. El diagnóstico energético como herramienta para estrategias de eficiencia.	16
1.3. Metodologías para evaluar la eficiencia en la generación de vapor.	20
1.4. Revisión de estudios de eficiencia en calderas pirotubulares.	22
1.5. Antecedentes sobre estrategias para la mejora de la gestión energética empresarial.	28
CAPÍTULO II: DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR DE LA ESTEC	35
2.1. Caracterización general de la empresa objeto de estudio	35
2.1.1 Gestión energética empresarial	36
2.1.2 Análisis de portadores energéticos	37
2.2 Desarrollo del diagnóstico energético	39
2.2.1 Técnicas de recopilación de datos	41
2.2.2. Descripción del sistema de generación de vapor (caldera – quemador) ..	42
2.2.3 Consumo de combustible en la generación de vapor: línea base energética.	46
2.3.1 Análisis termográfico en superficies de caldera	48
2.3.2 Potencia térmica del quemador y margen de regulabilidad	49
2.3.3 Eficiencia del generador de vapor por el método directo	50
2.4 Método para identificar relación causa- efecto	50
2.4.2 Análisis del efecto económico	51
2.4.3 Determinación del impacto ambiental	51
CAPÍTULO III: ESTRATEGIAS DE EFICIENCIA PARA LA MEJORA DE LA GESTIÓN ENERGÉTICA EMPRESARIAL	53
3.1. Potenciales de ahorro identificados en el diagnóstico energético	53
3.2. Propuestas de estrategias de eficiencia en el sistema de generación de vapor	58

3.3. Análisis de las estrategias de eficiencia propuestas	61
3.4. Análisis de efecto económico	62
3.5. Impacto ambiental	63
CONCLUSIONES GENERALES	64
RECOMENDACIONES	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
ANEXOS	70

INTRODUCCIÓN

Uno de los temas de gran actualidad a nivel global es el relacionado con el ahorro energético, pues el desarrollo exige cada vez más de mayores volúmenes de energía, al mismo tiempo que ha comenzado el conteo regresivo para el agotamiento de los combustibles fósiles utilizados hasta el momento como fuente principal de energía. Grandes avances se han logrado en el uso de fuentes renovables de energía, sobre todo en los países más desarrollados y en un menor grado en los países en vía de desarrollo.

La gestión energética en una empresa se refiere al conjunto de acciones y estrategias enfocadas en el uso eficiente y sostenible de la energía. Su objetivo principal es optimizar el consumo energético, reducir los costos asociados y minimizar el impacto ambiental. Esta implica un enfoque integral que abarca desde el monitoreo y seguimiento del consumo energético hasta la implementación de medidas de eficiencia energética y el uso de fuentes de energía renovable (Borroto-Nordelo et al., 2005). Esta no sólo contempla el ahorro de energía sino también estrategias para la mejora de la eficiencia energética pues con estas estrategias se contribuye a la obtención de ahorros de combustible, la reducción de los costos operativos, la mejora ambiental y la competitividad de la economía empresarial.

La eficiencia energética o ahorro energético, tiene como objetivo reducir la cantidad de energía, requerida para proporcionar productos y servicios. Las mejoras en la eficiencia energética se logran generalmente mediante la adopción de nuevas tecnologías o mediante la aplicación de métodos comúnmente aceptados para reducir las pérdidas de energía (Diesendorf, 2007). Posibilitando así la reducción el consumo energético de los sistemas térmicos al optimizar el desempeño de estos, a través de diferentes parámetros que se tienen en consideración, ya que los generadores de vapor tanto en plantas generadoras de energía eléctrica, como en plantas industriales, representan un alto consumo de combustible. Es por esta razón que la eficiencia energética, promueve oportunidades para reducir costos, proteger el medio ambiente e incrementar la competitividad ya que se emplean la menor cantidad de energía posible, con los requisitos de calidad establecidos, el menor consumo y gasto energético y la menor contaminación ambiental asociada.

Actualmente, se presentan diferentes fenómenos naturales los cuales han afectado el área de la energía eléctrica, debido a esto las empresas se han visto en la obligación de promover hábitos para generar el ahorro de energía, considerando que aplicar el concepto

de eficiencia energética es el modo más rápido y económico para reducir el consumo energético (Pacheco, 2017). Es válido, resaltar que las propuestas de mejoras en las empresas, es una estrategia fundamental para reducir los costos en las mismas.

Para lograr una mayor competitividad y mejora en los procesos de servicios se hace necesario que las empresas tengan un sistema de gestión energética que permita medir los consumos, determinar su fuente energética prioritaria (térmica, gas, petróleo, vapor, o eléctrica) e implementar estrategias para definir oportunidades de ahorro en este sentido (Morillo, 2001).

Por tanto, en el ámbito internacional se han realizado estudios para mejorar la eficiencia energética de calderas y así contribuir al ahorro empresarial. Destacándose los estudios de (Hidalgo, 2016) sobre la “Eficiencia térmica en las calderas de vapor de la ciudad de Loja y su correlación con la contaminación ambiental”, así como las propuestas de mejoras en el área de calderas para reducir los costos de operación en la empresa pesquera. En las mismas se valora a partir de la productividad y medición de datos, empleando la técnica de diagrama de Pareto, en función a los costos de operación de la empresa y su viabilidad desde el punto de vista económico, evaluar el ahorro en los costos de producción al año obteniendo como resultado la reducción del consumo de petróleo en la empresa.

Por otra parte, en la investigación titulada “La reducción de la pérdida de calor superficial en calderas de vapor” obtuvieron las pérdidas de calor que ocurren en la superficie exterior de una caldera de vapor utilizada en el proceso de destilación en una empresa textil, utilizando como instrumento de escaneo una cámara térmica con la cual se evaluaron todas las superficies de la caldera, para determinar las áreas con problemas de aislamiento. (Fevzi & Kocaba, 2022). En esta investigación se obtuvo como resultado que en las superficies frontal y posterior de la cubierta se cuantificaron valores de alta temperatura. Obligando así a que estas superficies deben cubrirse con camisas y almohadillas aislantes para evitar las pérdidas de calor. Sin embargo, necesitaron tener en cuenta al dibujar la imagen esquemática de la caldera, la elaboración de un diagrama de Pareto según la temperatura de la superficie para iniciar los estudios de mejora.

Por su parte, en Cuba se apuesta por una verdadera revolución en el tema energético y son palpables los avances logrados en la instalación progresiva de los parques eólicos, parques fotovoltaicos, mini hidroeléctricas, plantas generadoras a partir de la biomasa y otras

fuentes renovables de energía. El esfuerzo que se realiza y los grandes recursos que se invierten en incrementar la capacidad de generación para garantizar el desarrollo sostenible del país tiene que ir acompañado necesariamente de una política del uso racional y eficiente del recurso energético en todas las instancias e instituciones de la producción y los servicios (Laborde et al., 2021).

Diversas son las medidas que se adoptan en este sentido, sin embargo, la mayor efectividad se logra cuando las mismas van acompañadas o se fundamentan en los resultados de un diagnóstico energético, ya que este último constituye una herramienta fundamental para establecer metas de ahorro, diseñar y establecer programas integrales para el ahorro, evaluar técnica y económicamente las medidas para el ahorro y disminuir el consumo sin afectaciones negativas a la producción y los servicios.

En este ámbito es reconocida la investigación de (AJiménez-Borges et al., 2021). titulada “Pérdidas por radiación en generadores de vapor con el apoyo de la técnica termográfico” donde se trazan estrategias y métodos para contribuir a la minimización de consumos y reducir las emisiones de CO₂. Demostrándose la necesidad del análisis termográfico con ayuda de la cámara térmica desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo al generador de vapor pirotubular, que se particularice en la dependencia que existe entre el rendimiento y la radiación que este equipo emite.

La eficiencia energética de un generador de vapor puede ser evaluada por el método directo o el indirecto. El primero define la eficiencia de la caldera como la relación entre la energía aprovechada en la transformación del agua en vapor y la energía suministrada por el combustible y el indirecto considera las diferentes pérdidas que ocurren en el generador, (Borroto & Rubio, 2007). Las mayores y más frecuentes pérdidas en un generador de tipo pirotubular son las ocurridas en los gases de salida q_2 y por radiación al medio q_5 . Un aumento de la temperatura de los gases de salida de 12 a 16°C puede representar aproximadamente un crecimiento de 1% en la pérdida de calor sensible con los gases de escape, es por ello que resulta deseable mantener la más baja temperatura posible para los gases de salida, Chang (2014). Otro tanto ocurre con la pérdida por radiación, cuyo valor a cargas parciales durante la operación puede superar el 5 % (Kitto & Stultz, 2005).

El objeto de estudio se basa en el sistema de generación de vapor de la Empresa de Servicios Técnicos y Especializados de Cienfuegos (ESTEC), la cual consta de dos

calderas pirotubulares, sin embargo, a partir de los problemas tecnológicos presentados y la reducción temporal del consumo térmico, en la actualidad sólo se utiliza una caldera. Aunque la ESTEC ha implementado medidas para el ahorro de combustible, a partir de indicaciones de la Unión Eléctrica y las iniciativas de la propia entidad, todavía existen potenciales de reducción importantes, específicamente, en el servicio de alimentación, donde se utiliza vapor saturado, generado en calderas pirotubulares, a partir de la combustión de diésel. El consumo de este portador eleva la dependencia de energía importada, los costos operativos y, en particular, los costos energéticos, además del impacto negativo al medio ambiente. Por tanto, se realizó un estudio de línea base energética del consumo de combustible del generador de vapor, a partir de la cual se pueden establecer potenciales de ahorro y proponer estrategias de eficiencia energética.

Actualmente la caldera objeto de estudio se está utilizando aproximadamente al 50 % de su capacidad nominal, esta trabaja en régimen no estacionario, es decir con arranques y paradas, en función del consumo térmico de las marmitas para la cocción de alimentos. La ESTEC enfrenta el desafío de mejorar su eficiencia energética e implementar estrategias de eficiencia para la mejora de la gestión energética empresarial. Por tanto, con el objetivo de realizar mejoras de eficiencia en el proceso de generación de vapor, la autora de la presente investigación realiza un análisis crítico para obtener la línea base energética del consumo de combustible del generador de vapor, a partir de la cual se pueden establecer los potenciales de ahorro y proponer estrategias de eficiencia energética.

Todo lo ante expuesto como situación problemática de la investigación, trae consigo el siguiente **problema de investigación**: ¿Cómo contribuir a la mejora de la gestión energética en la Empresa de Servicios Técnicos y Especializados de Cienfuegos?

Para lograr solucionar este problema se propone como **objetivo general**: Proponer estrategias de eficiencia en el sistema de generación de vapor de la Empresa de Servicios Técnicos y Especializados de Cienfuegos a partir de un diagnóstico energético.

Objetivos específicos:

1. Revisar los estudios sobre eficiencia en la generación de vapor en el contexto empresarial.
2. Desarrollar un diagnóstico energético en el sistema de generación de vapor de la ESTEC.

3. Evaluar estrategias para la mejora de la gestión energética.

Hipótesis: Las estrategias de eficiencia en la generación de vapor contribuyen a la obtención de ahorros de combustible, la reducción de los costos operativos y la mejora ambiental en la Empresa de Servicios Técnicos y Especializados de Cienfuegos.

El tipo de investigación que se desarrolla contiene las características siguientes: exploratoria, descriptiva, correlacionar y explicativa. Para lograr los objetivos específicos propuestos la investigación se ha estructurado de la manera siguiente:

En el **Capítulo I** se desarrolla el marco teórico sobre la eficiencia en la generación de vapor, específicamente, en calderas pirotubulares y su importancia para el desarrollo empresarial. Se presentan los fundamentos sobre las metodologías de evaluación, como el diagnóstico energético, y las estrategias para elevar el rendimiento y reducir los costos operativos. Se revisan los antecedentes como soporte la literatura científica que aborda la problemática.

El **Capítulo II** se presenta el diagnóstico energético del sistema de generación de vapor de la ESTEC, a partir de la descripción de las metodologías, pruebas de campo, equipos e instrumentación empleados, así como del análisis de indicadores de línea base energética empresarial y de la caldera objeto de estudio. Los principales métodos y herramientas utilizadas fueron la revisión bibliográfica, la observación visual, la entrevista, las mediciones de campo con técnicas termografías, el diagrama de Pareto, diagrama de causa efecto (Ishikawa), el Software IRISoft5, los cálculos analíticos para la determinación de la eficiencia bruta de la caldera y las pérdidas de calor, la ingeniería de selección y el análisis de efecto económico.

En el **Capítulo III** se presentan y discuten los resultados alcanzados con la aplicación del diagnóstico energético, sobre la base de los resultados de este diagnóstico alcanzado a través del análisis termográfico, se identifican oportunidades de eficiencia en la generación de vapor para proponer estrategias, que contribuyan a la mejora de gestión energética de la ESTEC. Como resultados de esta investigación se encuentran la propuesta de un cambio de quemador de la caldera objeto estudio, para minimizar consumos y reducir emisiones de CO₂

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se desarrolla el marco teórico sobre la eficiencia en la generación de vapor, específicamente, en calderas pirotubulares y su importancia para el desarrollo empresarial. Se presentan los fundamentos sobre las metodologías de evaluación, como el diagnóstico energético, y las estrategias para elevar el rendimiento y reducir los costos operativos. Se revisan los antecedentes como soporte la literatura científica que aborda la problemática. En la figura 1.1 se muestra el hilo conductor del presente capítulo.

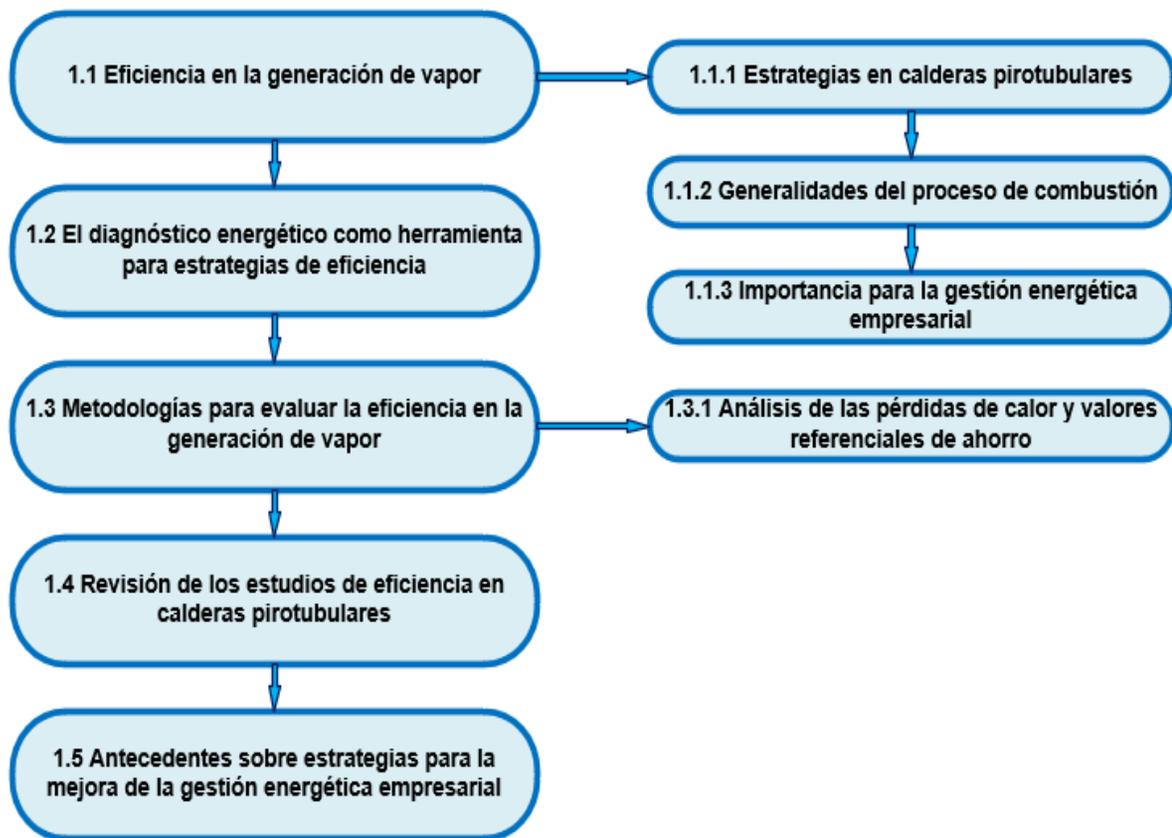


Figura 1.1 Hilo Conductor. Fuente: Elaboración propia.

1. Eficiencia en la generación de vapor.

El desarrollo actual y prospectivo de la región requiere de acciones encaminadas a reducir costos, proteger el medio ambiente, y aumentar la competitividad de las empresas, ante una economía cada vez más abierta y globalizada. La eficiencia energética es una de las principales áreas de oportunidad para reducir costos, proteger el medio ambiente e

incrementar la competitividad. La misma caracteriza la habilidad de lograr objetivos productivos, empleando la menor cantidad de energía posible, con los requisitos de calidad establecidos, el menor consumo y gasto energético, y la menor contaminación ambiental asociada (Borroto-Nordelo et al., 2005).

Hacer un uso responsable de la energía controlando y gestionando los sistemas térmicos, como es el caso de los sistemas de vapor, ayuda a ahorrar dinero y a la vez reduce las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Esto se puede implementar sin disminuir la producción, aumentando la competitividad de las empresas y contribuyendo de manera proactiva en las transiciones energéticas. (Comité Argentino del Consejo Mundial de Energía, 2020).

La generación de vapor es el proceso de convertir agua en vapor, generalmente con el propósito de utilizar el vapor como una fuente de energía o para ajustar diferentes procesos industriales. La eficiencia energética es una forma de medir la utilización de la energía disponible en el combustible utilizado (Fevzi & Kocaba, 2022). Los sistemas de vapor tienen hoy en día un uso muy extenso en aplicaciones diversas, tales como generación de energía mecánica y eléctrica, como agente calefactor en servicios comerciales e industriales, así como en el proceso de elaboración de alimentos. (Colectivo de Autores, 2002).

Actualmente, en toda la humanidad se buscan formas que permitan el ahorro y uso eficiente de la energía. La eficiencia energética (EE) es una herramienta que ayuda a reducir el consumo energético de los sistemas térmicos, a su vez busca optimizar el desempeño de los mismos, evaluando sus parámetros de funcionamiento, sus consumos energéticos, la variación de la carga durante el periodo de trabajo, sus rendimientos, entre otros parámetros, siendo los generadores de vapor uno de los equipos de amplia importancia, ya que se puede hablar de su funcionamiento tanto en plantas generadoras de energía eléctrica, como en plantas industriales. Su uso representa un gran consumo de combustible, de tal manera que el hecho de lograr una mejor eficiencia de los mismos es de vital importancia (UCATEE, 2012).

El incremento de la eficiencia en el generador de vapor es una necesidad de los procesos energéticos, pues los mismos en la actualidad presentan rendimientos muy bajos, basta decir que de la energía del combustible al degradarse y una parte perderse por ineficiencia

en los generadores de vapor, las turbinas, los generadores eléctricos, las líneas de transmisión, los transformadores, los motores eléctricos y los equipos mecánicos, el hombre sólo puede convertir en trabajo útil entre un 12% y un 30 %, lo que significa que la mayor parte de ella se pierde (Tanquero, 2002). Cualquier desviación de la eficiencia investigarse para identificar el área del problema y tomar las medidas correctivas necesarias. Por consiguiente, es necesario conocer el nivel actual de eficiencia para la evaluación del desempeño, que es un requisito previo para las acciones de conservación de energía en la industria (Zhengzhou Boiler, 1999).

1.1. Estrategias en calderas pirotubulares.

Las calderas o generadores de vapor son equipos que transfieren el calor proveniente de la combustión de algún combustible, ya sea gaseoso, líquido o sólido, para producir vapor o calentar fluidos y luego ser aprovechado en determinado proceso. Estas varían extensamente en su diseño dependiendo del método de combustión, el combustible utilizado, el campo de uso, tipo de circulación de agua empleada y la presión del vapor (Uceda, 2013). La tecnología principal para generar calefacción o energía de proceso es, precisamente, la caldera pirotubular monobloque, la cual se ha demostrado que resulta eficiente y rentable para las aplicaciones de proceso (Comité Argentino del Consejo Mundial de Energía, 2020).

En las calderas pirotubulares, los gases de combustión son obligados a pasar por el interior de unos tubos, que se encuentran sumergidos en la masa de agua. Todo el conjunto, agua y tubos de gases se encuentran rodeados por una carcasa exterior. Los gases calientes, al circular por los tubos, ceden calor, el cual se transmite a través de los tubos y posteriormente al agua. Las calderas pirotubulares están diseñadas para la obtención del máximo rendimiento, con tres pasos de gases, cámara posterior de inversión totalmente refrigerada por agua y optimización en el reparto de superficies de calefacción y volúmenes de agua y vapor, obteniendo flujos equilibrados y baja carga volumétrica. En su concepción se ha atendido a la simplificación de los trabajos de mantenimiento y a la incorporación opcional de los sistemas de vanguardia en regulación, control y automatización de los diversos parámetros de funcionamiento. Los gases pueden recorrer varias veces la longitud de la caldera. El diseño está limitado por la presión del vapor, ya que las presiones

superiores a 25 bares obligarían a usar fuertes espesores de virola. La producción de vapor alcanza como máximo 35 t/h (Alonso, 1996).

Las estrategias en calderas piro-tubulares se centran en mejorar la eficiencia operativa, la seguridad y la sostenibilidad. La implementación de estas estrategias puede conducir a una mayor eficiencia operativa, una vida útil prolongada de los equipos y una reducción del impacto ambiental, al tiempo que garantiza la seguridad y fiabilidad de los sistemas.

Luego de realizar una extensa revisión bibliográfica se obtuvo que las estrategias más comunes para la optimización del rendimiento en este tipo de caldera son las siguientes:

- **Mantenimiento y limpieza regular:** los programas de limpieza y mantenimiento ayudan a prevenir acumulaciones de suciedades, incrustaciones y depósitos en los tubos y el interior de la caldera, lo que puede reducir la transferencia de calor y disminuir la eficiencia.
- **Optimización de la combustión:** Asegurar una combustión eficiente y completa del combustible mediante la calibración adecuada del quemador y el control preciso de la relación de aire-combustible.
- **Recuperación de calor:** Emplear sistemas de recuperación de calor, como un economizador, para aprovechar el calor residual de los gases de escape y precalentar el agua de alimentación, aumentando la eficiencia general del sistema.
- **Control y monitorización avanzada:** Implementar sistemas de control y monitorización avanzada para supervisar el rendimiento de la caldera, realizar ajustes en tiempo real y detectar posibles problemas de forma temprana.
- **Tratamiento de agua:** Utilizar sistemas de tratamiento de agua para prevenir la formación de incrustaciones y la corrosión en los tubos de la caldera, lo que contribuye a mantener la eficiencia térmica.
- **Mantenimiento de la integridad estructural:** Inspeccionar regularmente la integridad estructural, los sellos y las conexiones para garantizar un funcionamiento seguro y confiable de la caldera.
- **Capacitación y prácticas operativas:** Proporcionar capacitación adecuada al personal que opera la caldera según las mejores prácticas, lo que puede mejorar la eficiencia y reducir la posibilidad de problemas operativos.

- **Cumplimiento normativo y ambiental:** Asegurarse de cumplir con las regulaciones ambientales y de seguridad pertinentes para garantizar operaciones seguras y responsables.

Los equipos de recuperación del calor tienen el objetivo de reutilizar una porción significativa de calor que de otra forma se perdería. En concreto, el calor que se pretende recuperar proviene del momento en que los gases dejan la sección de absorción de la caldera. Los accesorios a través de los cuales se recupera el calor de los gases de la combustión son: los economizadores de agua y los precalentadores de aire.

- **Economizadores de agua**

Un economizador de agua de alimentación es un intercambiador de calor que se instala para transferir energía térmica desde los gases de combustión al agua de alimentación de la caldera. En concreto el economizador calienta el agua de alimentación, acercándola a la temperatura del agua que está en el tambor de vapor.

- **Precalentadores de aire**

Los precalentadores de aire de combustión funcionan de manera similar a los economizadores de agua solo que, en lugar de calentar el agua de alimentación, precalientan el aire que se empleará en la combustión. Aprovechan la energía de los gases de la combustión antes de ser eliminados por la chimenea.

- **Limpieza: sopladores**

Con el funcionamiento de la caldera, las superficies de transferencia de calor se van cubriendo de incrustaciones, aumentando la resistencia a la transferencia de calor y en consecuencia las temperaturas en el tubo de escape de la chimenea también aumentan. En definitiva, esto hace disminuir la eficiencia de la caldera. Para evitarlo es necesario limpiar estas superficies periódicamente. Una forma de desincrustar el hollín y las cenizas de las cañerías es utilizar sopladores de hollín que consisten en lanzas con toberas que usan vapor a alta presión o aire comprimido.

La combinación de estas estrategias puede ayudar a mejorar significativamente la eficiencia energética, lo que resulta un menor consumo de combustible, menos costos operativos y una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Estas estrategias cuando se

utilizan en conjunto contribuyen a un rendimiento más sostenible y económico. Es importante realizar estudios de evaluación y con los resultados de los mismos actualizar regularmente estas estrategias para garantizar que la caldera opere de manera óptima y cumpla con los estándares de eficiencia y sostenibilidad requeridos.

1.1.1. Generalidades del proceso de combustión

En el proceso de generación de vapor, la combustión es un elemento fundamental. Durante el proceso de combustión se producen muchas transformaciones y reacciones químicas, dependiendo de la composición del tipo de combustible utilizado y de las condiciones en que se realice la combustión. Básicamente cuando se quema un hidrocarburo, el hidrógeno contenido en este se combina con el oxígeno del aire para producir agua, el carbón se combinará con el oxígeno del aire para formar bióxido de carbono y además se liberará energía en forma de calor.

Las fallas en este proceso inciden en la eficiencia de la caldera, tal es el caso de la combustión con exceso de aire, esta es llevada a cabo con una cantidad de oxígeno mayor a la teórica necesaria. Si bien utilizar aire en exceso aumenta la probabilidad de alcanzar una combustión completa del combustible, genera pérdidas de calor en los productos de la combustión, reduciendo la temperatura de combustión, la longitud de llama y eficiencia. Cabe mencionar que, si el aire y el combustible no se mezclan lo suficiente a pesar de que haya exceso de aire entre los productos de la combustión aparecerán productos que no llegaron a oxidarse (quemarse) de manera completa. Esto afecta aún más la eficiencia, porque además de calentar aire que no se utiliza, el combustible no alcanza a entregar toda la energía contenida porque no se oxida completamente (Comité Argentino del Consejo Mundial de Energía, 2020). En la **Figura 1.2** se muestra la relación entre la eficiencia en la combustión y la cantidad de aire, bajo el supuesto de un buen mezclado entre el aire y el combustible.

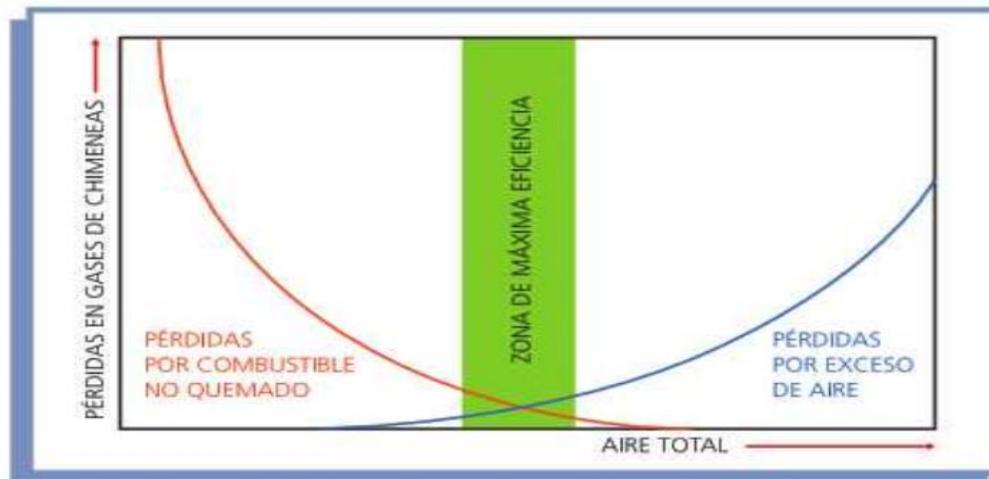


Figura 1.2. Relación entre cantidad de aire y eficiencia.

Fuente: CONUEE, Bases para el ahorro de calderas y sistemas de vapor.

Teniendo en cuenta los elementos anteriores, para obtener una buena eficiencia en caldera, se necesita controlar con bastante precisión la cantidad de aire que se suministra al proceso de combustión, porque demasiado aire reducirá la temperatura de la llama, y poco aire producirá una combustión incompleta. En la práctica es imposible asegurar un mezclado perfecto en el proceso de combustión utilizando el aire estequiométrico. Para asegurar una combustión completa, se necesita suministrar un exceso de aire lo cual tiene su efecto en la eficiencia de la caldera.

La eficiencia de la combustión es una indicación de la capacidad del quemador para quemar combustible. La cantidad de combustible no quemado y el exceso de aire se utilizan para evaluar la combustión de un quemador. Los quemadores que producen bajos niveles de combustible no quemado mientras funcionan con bajos niveles de exceso de aire se consideran eficientes. Los quemadores convencionales bien diseñados que queman combustibles gaseosos y líquidos funcionan con niveles de exceso de aire del 15% y dan como resultado una cantidad insignificante de combustible no quemado. Los quemadores de emisiones ultra bajas bien diseñados funcionan con un nivel de exceso de aire superior al 25% para reducir las emisiones a niveles muy bajos. Al operar con el requisito mínimo de exceso de aire, se utiliza menos calor del proceso de combustión para calentar el exceso de aire de combustión, lo que aumenta la energía disponible para la carga. La eficiencia de la combustión no es la misma para todos los combustibles y, en general, los

combustibles gaseosos y líquidos se queman de manera más eficiente que los combustibles sólidos.

La eficiencia térmica es una medida de la eficacia del intercambiador de calor de la caldera. Mide la capacidad del intercambiador para transferir calor del proceso de combustión al agua o vapor de la caldera. Debido a que la eficiencia térmica es únicamente una medida de la efectividad del intercambiador de calor de la caldera, no tiene en cuenta las pérdidas por radiación y convección debidas a la carcasa de la caldera, la columna de agua u otros componentes.

Dado que la eficiencia térmica no tiene en cuenta las pérdidas por radiación y convección, no es una indicación verdadera del uso de combustible de las calderas y no debe utilizarse en evaluaciones económicas. El término “eficiencia de la caldera” a menudo se sustituye por eficiencia térmica o eficiencia de combustible a vapor. Cuando se utiliza el término “eficiencia de la caldera”, es importante saber qué tipo de eficiencia se representa, pues la eficiencia térmica, que no tiene en cuenta para las pérdidas por radiación y convección, no es una indicación de la verdadera eficiencia de la caldera. La eficiencia de la conversión de combustible a vapor, que tiene en cuenta las pérdidas por radiación y convección, es una verdadera indicación de la eficiencia general de la caldera. El fabricante de la caldera debe definir el término “eficiencia de la caldera” antes de utilizarlo en cualquier evaluación económica.

La eficiencia de combustible a vapor es una medida de la eficiencia general de la caldera. Tiene en cuenta la eficacia del intercambiador de calor, así como las pérdidas por radiación y convección. Es una indicación de la verdadera eficiencia de la caldera y debe ser la eficiencia utilizada en las evaluaciones económicas.

En la **Fig 1.3.** se representa un diagrama donde se muestran los conceptos de eficiencia de la caldera

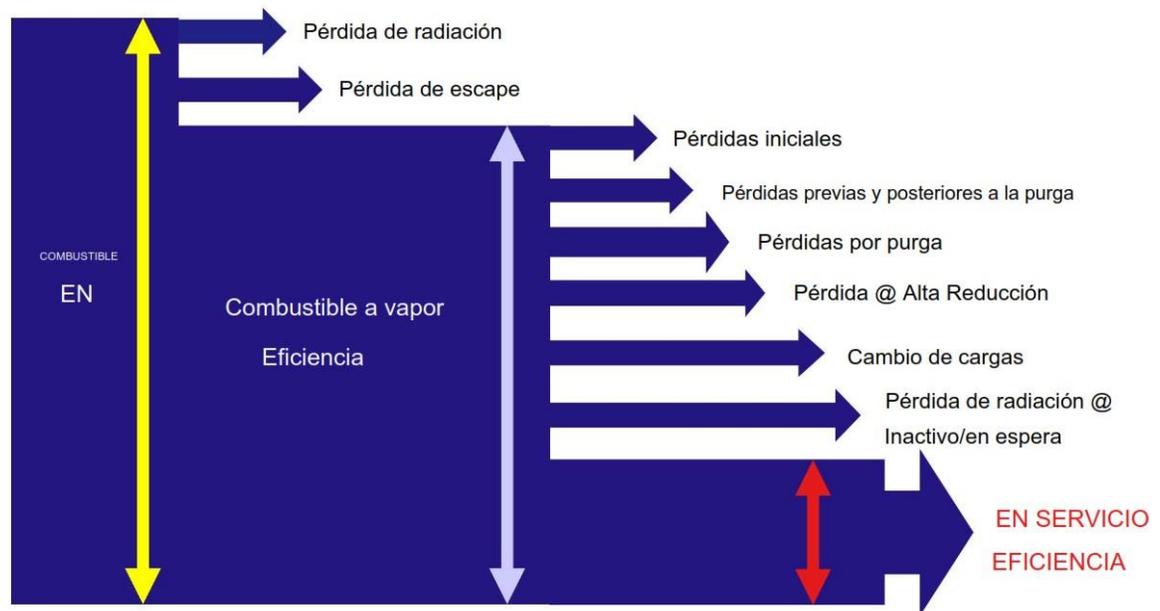


Fig 1.3. Diagrama que resume los conceptos de eficiencia en caldera.

Fuente: Folleto de optimización del diseño del sistema de caldera según las mejores prácticas. Miura Nueva Inglaterra, 2011.

1.1.2. Importancia de la eficiencia en la gestión energética empresarial

Los problemas energéticos del país y la necesidad de lograr un uso eficiente de los portadores energéticos en el sector industrial y los servicios, haciendo que la competitividad de una empresa está estrechamente ligada a los costos de producción que están consumados al consumo de energía. También el uso racional de la energía momentos en la que se trata de una prioridad de la economía nacional, debido la incidencia que tiene en los indicadores técnico - económico del sector productivo y la necesidad de reducir las importaciones. En el sector empresarial existen oportunidades de conservación de la energía que están relacionadas con acciones correctivas de tres tipos: Estructurales, tecnológicas y de formación personal. Donde los factores estructurales se relacionan con la estructura económica y la organización empresarial, los factores tecnológicos conciernen a la forma en que se utiliza la energía en cada proceso en función del equipamiento y los factores de formación del personal se relacionan con la insuficiente especialización y la capacitación personal técnico propio. Obviamente estos problemas no son ajenos a los procesos de dirección, por lo que resulta de vital importancia, venerar un sistema de gestión eficiente de la energía en la empresa (Marrero-Ramírez et al., 2006).

Las empresas nacionales deben tener claridad en cuanto a que sus competidores ya no se encuentran solo dentro de las fronteras de nuestro país, sino que principalmente provienen del extranjero, donde si existe una tremenda conciencia con respecto a los ahorros energéticos y a la disminución de los gastos operacionales. En la actualidad la reducción de los costos operacionales y los ahorros de energía asociados deben ser considerados en las políticas y estrategias de las empresas que pretenden liderar los cada vez más competitivos mercados existentes en estos tiempos (Oelker, 2023). Implementar las propuestas de mejoras en las empresas, se ha vuelto en la actualidad una estrategia fundamental para reducir los costos; tal como lo señala (Morillo, 2001), a partir de los costos en una empresa se puede planificar, medir y controlar en cualquiera etapa de la empresa y con esto se logra tomar decisiones para incrementar la rentabilidad usando de forma racional los recursos.

La eficiencia energética puede tener un impacto significativo en el desarrollo empresarial en aspectos claves como:

Reducción de costos operativos: Con el fin de mejorar la eficiencia en el uso de la energía lo que conlleva a una disminución directa de los costos operativos. Las empresas pueden reducir sus gastos en electricidad, combustible, agua y otros recursos energéticos, lo que contribuye, directamente a una mejora en la rentabilidad y la optimización de los presupuestos operativos.

Mejora de la competitividad: La reducción de costos a través de la eficiencia energética puede impulsar la competitividad empresarial al permitir que las empresas ofrezcan productos y servicios a precios más competitivos. Esto resulta crucial en entornos de mercado cada vez más competitivos.

Cumplimiento normativo: Con frecuencia, las regulaciones gubernamentales exigen a las empresas operar de manera más eficiente y sostenible. Al cumplir con estas regulaciones, las empresas evitan sanciones, mejoran su reputación y garantizan la continuidad de sus operaciones.

Imagen de marca y responsabilidad social corporativa: El compromiso con la eficiencia energética envía un mensaje poderoso a clientes, inversores y partes interesadas sobre el

compromiso de las empresas con la sostenibilidad ambiental, lo que puede mejorar su imagen de marca y su responsabilidad social corporativa.

Después de una revisión minuciosa de varias bibliografías, la autora considera que la implementación de la gestión energética es fundamental para identificar las pérdidas de energía más relevantes de la empresa, así como el impacto que producen los consumos energéticos en los costos operativos. La eficiencia energética en la generación de vapor es un aspecto fundamental para reducir los costos operativos, minimizar el impacto ambiental y maximizar el rendimiento de las instalaciones industriales. Una buena gestión permite el control y monitoreo en tiempo real de los indicadores de eficiencia, logrando reducción de pérdidas por este concepto. Por eso se hace necesario la implementación plan estratégico a corto, mediano y largo plazo con metas alcanzables y entendidas por todos los actores claves. Algunos de los beneficios de una buena gestión energética contribuyen a:

- ✓ El aumento de la eficiencia energética.
- ✓ Reducción del consumo de energía.
- ✓ Disminución de los costos energéticos.
- ✓ Disminución del precio (aumenta la ganancia).
- ✓ Mejoras en los procesos.
- ✓ Reducción del impacto ambiental.
- ✓ Reducción de costos del control ambiental.
- ✓ Mejoras la imagen empresarial.
- ✓ Mejoras en la competitividad.
- ✓ Mejoras de confiabilidad y seguridad.
- ✓ Instalaciones más seguras y confiables.
- ✓ Personal más capacitado y motivado.
- ✓ Mejoras en la calidad del producto.
- ✓ Disminución de los reprocesos y el uso de energías.
- ✓ Anticipación de las fallas y se evitan paradas de procesos.

1.2. El diagnóstico energético como herramienta para estrategias de eficiencia.

El ahorro de la energía en todas sus manifestaciones, en los últimos años ha jugado un papel de suma importancia dentro del desarrollo de la humanidad. Sin embargo, en Centro América los índices energéticos (producción entre unidad de energía), siguen siendo altos

comparados contra los respectivos valores de los países altamente industrializados, el mejorar estos índices depende de aprovechar al máximo la energía que se requiere en los procesos de producción. Probablemente la parte de mayor relevancia para el ahorro de energía sea el diagnóstico energético, puesto que de la certeza y atención en que sea desarrollado dependerá en gran medida el éxito de las acciones que posteriormente sean emprendidas. Por el contrario, el pretender ahorrar energía sin haber pasado antes por un diagnóstico energético suele llevar a estrepitosos fracasos (CNEE, 2010).

Los análisis, mediciones y evaluaciones de los principales equipos, sistemas y procesos consumidores de energía en las plantas industriales, han permitido determinar la eficiencia energética y las posibilidades de mejora, modernización y ahorro de las mismas. A estos análisis, evaluaciones y mediciones cuando se realizan de manera sistemática, objetiva y metodológica se atribuye el nombre de “diagnósticos energéticos”. Los diagnósticos energéticos permiten determinar los potenciales de ahorro de energía involucrados en los procesos de producción. Un diagnóstico energético es un elemento positivo de la administración de una empresa, ya que contribuye a incrementar la rentabilidad de la misma, eliminando desperdicios de energía y en consecuencia se disminuyen los costos de producción.

Es un instrumento que permite modernizar los sistemas de producción, sustituyendo tecnologías obsoletas, ineficientes y costosas. Permite además mejorar las condiciones de la producción y el ambiente en el que se envuelve la misma, logrando superar muchas veces de manera espectacular las condiciones actuales de la producción y rendimiento de las personas. Normalmente la realización de un diagnóstico energético, hecho por profesionales de la materia, conduce a reducir los costos de la producción sin afectar de manera negativa la calidad y cantidad de la misma (CNEE, 2010).

Los objetivos principales de un diagnóstico energético son:

- Evaluar cuantitativamente la energía que se transforma en el proceso de generación de vapor.
- Establecer la eficiencia de los generadores de vapor.
- Indicar potenciales de ahorro y uso eficiente de energía a partir de herramientas simples de gestión y definir las medidas por aplicar.

Los diagnósticos energéticos en sistemas de generación y distribución de vapor deben incluir análisis de equipos y sistemas tales como: generadores de vapor, cabezales de vapor, tuberías de distribución, trampas de vapor y purgas, sin incluir los equipos para el uso final del vapor en los procesos productivos (Hernán-Restrepo et al., 2005).

La primera etapa para promover el desarrollo de un sistema de gestión de energía es la conciencia de las autoridades (Fenton et al., 2016) y el diagnóstico energético como una herramienta indispensable (Correa et al., 2018; Kurahassi, 2006), el cual explora la matriz local de suministro y consumo energético para los sectores residencial, industrial, comercial y terciario, e identifica los factores críticos en el uso de la Energía (Correa et al., 2018; Kurahassi, 2006).

Para mejorar la eficiencia energética de la instalación en su totalidad se deben cubrir las siguientes etapas:

- ✓ **Dirección o Gestor Energético:** Consiste en delegar la autoridad necesaria a un responsable que promueva e impulse el uso racional y eficiente de la energía dentro la empresa y comunidad que en ella labora. Tendrá que diseñar y ejecutar un programa con metas concretas, reales y alcanzables según un calendario específico. Igualmente, se deben definir los mecanismos de supervisión y los medios de comunicación como los componentes esenciales del programa.
- ✓ **Diagnóstico:** Se refiere a la etapa fundamental de la gestión energética, implica el análisis histórico del uso de energía relacionado con los niveles de producción y el estudio detallado de las condiciones de diseño y operación de los equipos, sistemas y procesos involucrados en la actividad industrial o empresarial. El diagnóstico energético debe proponer las acciones y medidas correctivas que han de aplicarse para superar las condiciones actuales de operación energética, establece la factibilidad técnica y económica de realizarlas, así como la evaluación económica de las mismas, determinando los parámetros de rentabilidad de cada acción.
- ✓ **Planeación:** Consiste en elegir la alternativa concreta de acción a seguir, las políticas en materia de energía, el tiempo de ejecución, el logro de objetivos y, por último, se determina el monto de recursos financieros para la aplicación del programa.

- ✓ **Organización:** En esta etapa se define la estructura que permita instrumentar el programa establecido. Aquí es necesario especificar las funciones de todos los grupos e individuos que participen en el Programa de Ahorro de Energía.
- ✓ **Integración:** Consiste en elegir a la persona o grupos de personas que van a ser los responsables de la ejecución del programa, así como la adquisición de la instrumentación y el equipo necesario para la realización del diagnóstico y monitorear los avances del programa.
- ✓ **Control:** En esta etapa se establecen normas de consumo de energía, de mantenimiento y de operación, así como el método que permita dar seguimiento permanente al programa. Todo ello, mediante monitoreo a través de un sistema integral de información energética y listas de verificación de la aplicación de medidas de ahorro de energía.

El diagnóstico energético en sistemas de generación y distribución de vapor comprende tres objetivos fundamentales que comprende, evaluar cuantitativamente la energía que se transforma en el proceso de generación de vapor, establecer la eficiencia de los generadores de vapor e indicar potenciales de ahorro y uso eficiente de energía a partir de herramientas simples de gestión y definir las medidas por aplicar. Los diagnósticos energéticos en sistemas de generación y distribución de vapor deben incluir análisis de equipos y sistemas tales como: generadores de vapor, cabezales de vapor, tuberías de distribución, trampas de vapor y purgas, sin incluir los equipos para el uso final del vapor en los procesos productivos. A partir del análisis de equipos se deben definir los potenciales de ahorro de energía y las recomendaciones o medidas que se estimen viables y realizables técnicamente (Hernán-Restrepo et al., 2005).

El ahorro de la energía en todas sus manifestaciones, en los últimos años ha jugado un papel de suma importancia dentro del desarrollo de la humanidad. Sin embargo, en gran parte del territorio los índices energéticos (producción entre unidad de energía), siguen siendo altos comparados contra los respectivos valores de los países altamente industrializados, el mejorar estos índices depende de aprovechar al máximo la energía que se requiere en los procesos de producción. Probablemente la parte de mayor relevancia para el ahorro de energía sea el diagnóstico energético, puesto que de la certeza y atención en que sea desarrollado dependerá en gran medida el éxito de las

acciones que posteriormente sean emprendidas. Por el contrario, el pretender ahorrar energía sin haber pasado antes por un diagnóstico energético suele llevar a estrepitosos fracasos (CNEE, 2010).

1.3. Metodologías para evaluar la eficiencia en la generación de vapor.

Para estudiar la eficiencia energética en calderas, se emplean diversas metodologías y herramientas orientadas a evaluar el rendimiento, identificar áreas de mejora y optimizar el consumo de energía.

En el artículo “Revisión de las diferentes metodologías de cálculo y modelado de eficiencia en calderas” de los autores (Mojica-Cabeza et al., 2021) Se recopiló información sobre las diferentes metodologías para el cálculo de la eficiencia energética de calderas, las cuales se agruparon en métodos analíticos, modelos mecanicistas y métodos empíricos (Rusinowski & Stanek, 2007; Savargave & Lengare, 2018).

Entre los métodos analíticos más utilizados están los métodos directos e indirectos. El método directo calcula la eficiencia comparando la energía presente en la corriente de salida de vapor y la energía útil presente en el combustible utilizado (Lang, 2009).

Para determinar la energía útil presente en el combustible, es necesario conocer su poder calorífico (Kaewboonsong et al., 2006). Se utiliza el poder calorífico bruto (GCV), que incluye el calor perdido por vaporización del agua en los productos (Amell-Arrieta & Vélez-Rueda, 2003). Determinar la eficiencia mediante el método directo requiere mediciones directas y precisa de múltiples variables. Las principales variables requeridas son el caudal de agua de entrada, el caudal de agua de salida, los caudales de salida secundarios (purgas y corrientes auxiliares), las presiones y temperaturas de las diferentes corrientes, el caudal de combustible y el poder calorífico bruto del combustible.

El método indirecto calcula las pérdidas de energía en la caldera y las restas de una eficiencia del 100 %. Este método consiste en la evaluación de las pérdidas de energía en el generador de vapor, así como la cuantificación de la energía suministrada a éste, como son la energía del combustible y la energía de los créditos. Para la aplicación del método de pérdidas de energía, se requiere determinar el total de pérdidas de energía.

Por otra parte, en el 2007 se publicó una guía técnica sobre el procedimiento de inspección periódica de eficiencia energética para calderas. La guía detalla los procedimientos para la

determinación de la eficiencia energética mediante el método directo y el método indirecto, así como ensayos y los equipos de medición necesarios. Es posible alcanzar altos valores de eficiencia aplicando las oportunidades tecnológicas técnica y financieramente viables que ofrecen las tecnologías actuales. Las calderas de vapor que funcionan con baja eficiencia también provocan un aumento de las emisiones de gases nocivos para el medio ambiente, lo que añade costes medioambientales al coste financiero (Vakkilainen, 2016).

Entre las herramientas más comunes de evaluación energética en calderas están las siguientes:

Análisis de auditorías energéticas: Las auditorías energéticas proporcionan una evaluación detallada del rendimiento de la caldera, identificando áreas de ineficiencia y recomendando medidas correctivas. Estas implican la recopilación y el análisis de datos operativos, inspecciones en el sitio y la revisión de los sistemas de control.

Pruebas de rendimiento y análisis de combustión: Realizar pruebas de rendimiento para evaluar el rendimiento real de la caldera en condiciones operativas normales. El análisis de la combustión ayuda a ajustar la relación aire-combustible para optimizar la eficiencia de la combustión.

Modelado y simulación computacional: Utilizar software de modelado para simular el rendimiento de la caldera y estudiar el impacto de posibles mejoras antes de implementar cambios, lo que puede ayudar a optimizar la eficiencia energética.

Herramientas de monitoreo y control automatizado: Emplear sistemas avanzados de monitoreo y control que proporcionen datos en tiempo real sobre el rendimiento de la caldera, así como la capacidad de ajustar parámetros para maximizar la eficiencia.

Análisis Termográfico: El uso de cámaras termográficas puede identificar puntos calientes y áreas de pérdida de calor de caldera, lo que ayuda a corregir problemas de aislamiento o de transferencia de calor.

Análisis de ciclo de vida y evaluación de impacto ambiental: Evaluar el ciclo de vida de la caldera y su impacto ambiental general, considerando la extracción de materias primas, el proceso de fabricación, la operación y el fin de la vida útil del equipo.

Software de gestión energética: Utilizar herramientas de software especializadas para el monitoreo continuo del rendimiento energético. La identificación de tendencias y la generación de informes para evaluar la eficiencia de la caldera.

Estas metodologías y herramientas proporcionan una base sólida para evaluar, mejorar y optimizar la eficiencia energética de las calderas, lo que a su vez contribuye a la reducción del consumo de energía y a la sostenibilidad operativa.

Con base en la evaluación energética realizada, se tendrá que elaborar el dictamen energético actual del generador de vapor a partir de los datos recopilados de diseño y la prueba de comportamiento, así como de la determinación de la eficiencia actual del generador de vapor. La determinación de la eficiencia energética del generador de vapor consiste en comparar los datos de diseño, con el valor obtenido en la sección de determinación de la eficiencia del generador de vapor. A partir de este valor se pueden determinar los potenciales de ahorro de energía en la caldera de vapor.

1.4. Revisión de estudios de eficiencia en calderas piro-tubulares.

En un estudio realizado por A Jiménez Borges, R., Iturralde Carrera, L. Á., Monteagudo Yanes, J. P., & Castillo Álvarez, Y. (2021), realizaron una investigación titulada 'Pérdidas por radiación en generadores de vapor con el apoyo de la técnica termográfica' en la cual exponen que durante la producción de vapor existen pérdidas energéticas que ocasionan que este rendimiento disminuya, importante son las pérdidas de calor sensible con los gases de salida (q_2) que en calderas del tipo piro-tubulares bajo condiciones de cargas parciales oscilan entre un 8 a 30 % y en las del tipo acetabular son del orden del 8 al 10%, por ello es que resulta importante bajo ciertas condiciones tener la temperatura de los gases lo más baja posible. Otro tanto sucede con la pérdida por radiación (q_5), a menudo existen zonas donde se alcanzan temperaturas elevadas debido a la falta de aislamiento térmico o a la insuficiencia de este, llegándose a alcanzar valores de hasta un 5 % o superiores y menores del 2 % en calderas acetabulares.

Los parámetros de rendimiento de la caldera, como la eficiencia y la tasa de evaporación, se reducen con el tiempo debido a una mala combustión, suciedad en la superficie de transferencia de calor y una mala operación y mantenimiento. Incluso en el caso de una caldera nueva, motivos como el deterioro de la calidad del combustible, la calidad del agua, etc. pueden provocar mal rendimiento de la caldera. Las pruebas de eficiencia de la caldera nos ayudan a descubrir la desviación de la eficiencia de la caldera con respecto a la mejor eficiencia y el área problemática objetivo para tomar medidas correctivas. (Shields, 1961).

Las mayores y más frecuentes pérdidas en un generador de tipo pirotubular son las ocurridas en los gases de salida q_2 y por radiación al medio q_5 . Según evaluaciones realizadas en unidades de este tipo, se observa que el peso relevante está en la pérdida de calor sensible con los gases, que alcanza valores que oscilan entre 8 y 30 % (Lv T, Yu L, Song J, 2012). Un aumento de la temperatura de los gases de salida de 12 a 16 °C puede representar aproximadamente un crecimiento de 1 % en la pérdida de calor sensible con los gases de escape, es por ello que resulta deseable mantener la más baja temperatura posible para los gases de salida. Otro tanto ocurre con la pérdida por radiación, cuyo valor a cargas parciales durante la operación puede superar el 5 % (Fitton & Steelz, 2005).

El rendimiento energético en calderas industriales puede oscilar en un rango variable en función del uso, el tipo de combustible y el grado de sobredimensionamiento, entendiéndose este último como la cantidad de vapor que es capaz de producir la caldera y que sobrepasa la cantidad real necesaria demandada por el consumidor (Vidal & Lapido, 2010). En un estudio realizado en Serbia a un 25 % de las calderas instaladas el rendimiento energético se encuentra alrededor del 89,4 % (Kljaji & Gvozdenac, 2012). En el libro Generadores de Vapor se considera que las calderas pirotubulares operan en un rango de eficiencia bruta entre 88% y 92%.

Las mayores pérdidas que se producen en una caldera pirotubular, y que, por tanto, afectan en mayor medida la eficiencia de las mismas, están determinadas por el calor sensible que se escapa con los gases de la combustión, determinado esto por la alta temperatura que llevan los mismos, y las pérdidas por radiación, presentes en todo momento, ya sea durante el funcionamiento o en los períodos de paradas por bajo consumo de vapor en los equipos instalados en la industria. La eficiencia energética debe tener en cuenta varias aristas que comprendan el aprovechamiento del combustible, que lleva intrínseco el ahorro del portador energético utilizado, la seguridad de la operación del equipo, lo que redundará en beneficio del medio ambiente y la competitividad.

El aislamiento térmico forma parte de las estrategias para contribuir a la eficiencia energética en calderas, es uno de los métodos de ahorro energético, ¡que se puede aplicar a tuberías, instalaciones y edificios con pérdida o ganancia de calor; aunque no lo hace requiere mucho costo de inversión, puede ahorrar significativamente cantidades de energía y amortizarse en poco tiempo con los ahorros que proporciona (Kocot et al., 2017). El

propósito más importante del aislamiento de la superficie exterior de la caldera es reducir la pérdida de calor del sistema al medio ambiente y garantizar que las propiedades del flujo caliente se mantienen en el nivel deseado y reducir las pérdidas de calor de la superficie (Varotaria & Barelwala, 2014).

En una instalación de vapor se producen cambios energéticos caracterizados por ganancia o entrega de energía, la cual se puede medir en términos de variación de entalpía, que va desde agua líquida hasta vapor sobrecalentado, pasando por todos los estados intermedios incluyendo la vaporización, es decir, cambios de fase. (Zhengzhou Boiler, 1999).

Los generadores de vapor son instalaciones esenciales en el funcionamiento de prácticamente todas las empresas industriales. Por su importancia se consideran el corazón de toda industria moderna (Kitto & Stultz, 2005). Estos equipos también se conocen comúnmente como calderas de vapor y se clasifican entre los intercambiadores de calor más difundidos y utilizados, de los encontrados en la técnica moderna (Camaraza, 2017). Su estudio, desde el punto de vista de la termotransferencia, resulta interesante porque en ellos se manifiestan todos los modos de transmisión del calor (Camaraza, 2018). Además, consumen gran cantidad de combustibles y contaminan el medio ambiente, por ello se requiere explotarlos eficientemente (Buecker, 2012).

Se ha definido que entre el 40% y 60% de toda la energía empleada en la industria a nivel mundial es empleada para la generación de vapor, y es una razón más para que la operación eficiente del sistema de generación, la distribución adecuada del vapor, el control del consumo final y el mantenimiento oportuno, representa una gran oportunidad para disminuir los consumos energéticos y en consecuencia los costos de operación y la rentabilidad de los procesos industriales (CONAE, 2002).

Pérdidas de calor en gases de combustión

Es muy probable que esta sea las fuentes de pérdidas de calor más importante y por tanto es necesario de alguna manera reducir estas al máximo. Las mismas se producen debido a las temperaturas y volumen de los gases que salen por la chimenea, pues a mayor temperatura de los gases, menor es la eficiencia de la caldera. Los gases pueden estar demasiado calientes por dos razones fundamentales:

1.El quemador está produciendo más calor que el que se requiere para la carga específica de la caldera, esto indica que el quemador y el mecanismo de la compuerta de aire requiere de mantenimiento y recalibración.

2.Las superficies de calefacción de la caldera no están funcionando correctamente y el calor no se está transfiriendo al agua, esto significa que las superficies de calefacción están sucias o con incrustaciones y necesitan limpieza.

Se debe tener cuidado al reducir la temperatura de los gases de combustión, ya que demasiado enfriamiento puede reducir la temperatura de los gases por abajo del “punto de rocío”, lo que aumenta la posibilidad de corrosión por la formación de ácido nítrico, ácido sulfúrico y agua.

Pérdidas por radiación

Debido a que las calderas (su envolvente) está más caliente que el medio ambiente donde se encuentra, una parte de su calor se transfiere a su alrededor. Un aislamiento dañado o mal instalado aumenta considerablemente el potencial de pérdida de calor por radiación. Una caldera de tubos de humo o de agua, de 5MW, razonablemente bien aislada, tendrá una pérdida por radiación de 0,3 a 0,5% de su energía. Sin embargo, en las calderas de menor potencia, el porcentaje de pérdidas por radiación puede variar desde 1,3% para una caldera de 600 CC y hasta 3% para una caldera de 5 CC. Quizás esto no parezca una cantidad considerable, pero estos porcentajes corresponden a plena carga y esta pérdida permanecerá constante, incluso si la caldera no está enviando vapor a proceso y se mantiene simplemente en “stand by”. Todo esto indica que para operar más eficientemente, la caldera debe trabajar cerca de su máxima capacidad, que a su vez esto requiere de una buena coordinación entre la casa de máquinas y el departamento de producción (Conuee, 2009).

Las pérdidas por radiación tienen una gran importancia en las calderas pirotubulares por el hecho de ser una pérdida continua, que está presente también en el tiempo que la caldera está en disposición de dar servicio y no trabaja el quemador y por tener estas calderas una alta relación área-volumen, que, unido al trabajo a cargas parciales, como generalmente ocurren, hace que se incrementen estas pérdidas alcanzando valores considerables (Lapido Rodríguez M J, 2015).

Otro efecto negativo desde el punto de vista energético lo constituye el hecho de que, durante los períodos de parada del quemador, por efecto de la convección natural los gases calientes que se encuentran en el hogar fluyen hacia la chimenea y por medio de esta al medio exterior. El espacio dejado libre en el horno y la flusería es ocupado por aire frío a temperatura ambiente que entra por el conducto del ventilador de tiro forzado, debido a la alta diferencia de temperaturas con las paredes de transferencia provocan un “enfriamiento” de ellas. En el momento del arranque del quemador, el primer paso o proceso que se efectúa es un “barrido” con el ventilador para minimizar la posible presencia de gases combustibles en la cámara que puedan provocar sobre explosiones no controladas. De esta forma también se contribuye al “enfriamiento” del horno. Se deduce entonces que los primeros volúmenes de combustible que se inyectan al cañón de fuego son empleados en “calentar” las superficies “enfriadas”, según los mecanismos explicados. Los volúmenes de aire “frío” que se incorporan al horno dependen de factores como la capacidad de la caldera, el tipo de quemador, la regulación del ventilador en correspondencia con el ajuste de la combustión (Brandon,2021).

Además de los problemas que se tienen en el quemador, el hogar y los derivados de la relación aire/combustible para obtener una combustión completa y eficiente, existen otras fuentes de pérdidas de calor y eficiencia. La evaluación de estas se utiliza para determinar la eficiencia de la caldera en el método indirecto o de pérdidas.

Respecto a los trabajos de supervisión y mantenimiento, la termografía ofrece mayor seguridad ya que permite medir temperaturas a distancia, conservando exactitud y sin tener contacto físico con los objetos a estudiar (Nardi, et al., 2018).

Eficiencia indirecta

$$\eta_{indirecto} = 100\% - \sum_{p\acute{e}rdidas} \lambda_i$$



Las pérdidas de calor en la superficie exterior de la caldera se producen de dos maneras diferentes, en forma de radiación y convección. La pérdida de calor causada por la convección es directamente proporcional a la temperatura de la pared, y la pérdida de calor por radiación es directamente proporcional a la cuarta potencia de estas temperaturas (Durukafa D. Quinto Congreso de Eficiencia Energética, Kocaeli, Turquía, 2019).

Durante el funcionamiento de los generadores de vapor, las superficies exteriores del horno y los conductos, los colectores, el domo, conductos de gases, tuberías, etc., alcanzan una temperatura superior a la ambiental. Este gradiente de temperatura genera una transferencia de calor al medio exterior que se efectúa por dos mecanismos fundamentales: convección y radiación, lo que representa una pérdida de calor, en ocasiones significativa, que afecta la eficiencia del generador de vapor. A este tipo de pérdidas generalmente se les denomina “pérdidas por radiación”, y su magnitud depende fundamentalmente de las dimensiones de la unidad (capacidad nominal), carga y de la temperatura y velocidad del aire exterior.

Las pérdidas por radiación tienen una gran importancia en las calderas pirotubulares por el hecho de ser una pérdida continua, que está presente también en el tiempo que la caldera está en disposición de dar servicio y no trabaja el quemador y por tener estas calderas una alta relación área-volumen, que, unido al trabajo a cargas parciales, como generalmente

ocurren, hace que se incrementen estas pérdidas alcanzando valores considerables (Lapido Rodríguez M J, 2015).

Las pérdidas por radiación superficial y convección se pueden determinar indirectamente midiendo la temperatura superficial media del generador de vapor y la ambiental próxima a ella (0.5-1.5 m). La temperatura de la superficie, la temperatura ambiente y la velocidad del aire ambiente deben determinarse en un número suficiente de lugares para determinar valores medios representativos;

normalmente oscila entre 0-5% de la energía de entrada del sistema. La termografía infrarroja como método de mantenimiento predictivo, es un recurso importante en el diagnóstico de problemas y fallas de los equipos muy utilizados en grandes industrias (Xinrui & Memari, 2019; Bolum, et al,2020). Con la identificación de las fallas previo a las paradas se evitan pérdidas de tiempo en los mantenimientos, ya que con antelación se conoce una serie de información como ubicación y tamaño de deterioros en el material refractario de las paredes de los generadores de vapor o calderas.

Para determinar el estado de aislamiento de la caldera y sus equipos, se debe comprobar de vez en cuando y de ser necesario cambiar el aislamiento. En lugar de renovar utilizando un material del mismo espesor que el antiguo. Durante el reemplazo, se debe realizar una evaluación económica. El tiempo de reemplazo y el aislamiento a implementar deben volver a determinarse en consecuencia (Sharapov VI, Kamalova RI,2019). Si el espacio lo permite, se recomienda realizar una segunda capa sobre el aislamiento existente, pero en buen estado y forma. Sin embargo, en condiciones inadecuadas áreas, especialmente en puntos desgastados y dañados, el viejo uno debe ser desmantelado y reemplazado por uno nuevo (Zhou L, Li J, Li F, Meng Q, Li J, Xu X,2016). El aislamiento se construye de tal manera que proporcione la temperatura de la superficie de la caldera a un valor aproximadamente 30°C por encima de la temperatura ambiente y es suficiente para minimizar las pérdidas de calor (Kaya D, Kılıç FÇ, Öztürk HH, 2021).

1.5. Antecedentes sobre estrategias para la mejora de la gestión energética empresarial.

Dado que una caldera consume durante un año, por concepto de uso de combustible, varias veces el valor (capital) inicial de uno de estos equipos, los ahorros que son posibles de

obtener con el incremento de solo un par de puntos de eficiencia son considerables. Una gran mayoría o prácticamente la totalidad de las plantas que poseen calderas pirotubulares no tienen claridad de la importancia que tiene, en la reducción de los costos operacionales (ahorro de combustible), la operación de los generadores de vapor, en condiciones de máxima eficiencia (Thermal Engineering Ltda).

En la tesis titulada “Estudio de la eficiencia de combustión de la sala de calderas de la empresa Remaveca”. Sierra, A. (2005), publicado por la Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela, se explica que las calderas siempre trabajan con una eficiencia menores a su eficiencia real, por eso se propuso realizar un estudio para saber cuál es la factibilidad técnica – económico en las diferentes alternativas que logren aumentar la eficiencia en el proceso, para lo cual realizo un análisis de los gases de combustión para hallar una buena regulación de combustible y aire para mejorar la eficiencia de las calderas, logrando de esta manera un ahorro anual \$ 4532 dólares por ahorro de combustible regulando la relación aire – combustible.

En la tesis titulada “Eficiencia Térmica de las calderas de vapor de la ciudad de Loja y su correlación con la contaminación ambiental” Hidalgo, C. (2016), publicado por la Universidad Nacional de Loja”, Loja, Ecuador. El siguiente trabajo se abordó la relación que existe entre la eficiencia de las calderas y los gases de combustión, porque a través de los mismos podemos hallar como está la eficiencia de los calderos, determinando que a mayor pérdida de producto en los gases que van a la atmosfera la eficiencia decrece, evidenciando que los análisis son dependientes para cada caldera, debido a que cada caldera tiene condiciones únicas y específicas.

En la tesis titulada “Influencia de un sistema de vapor flash en el área de secado para la reducción del consumo de combustible en la planta de harina COPEINCA Chancay, 2019”. Ramos & Valle (2019), publicado por la Universidad del Santa, en Chimbote, Perú, nos demuestra la influencia que tiene un sistema flash en el ahorro de combustible, para lo cual se realizó entrevistas a los operadores y se reunió para su análisis los parámetros de operación de los equipos, donde se calculó una eficiencia en los calderos del 91.48%, luego realizaron los balances de materia y energía para poder calcular las dimensiones de los tanques flash, con lo cual se logró reducir el consumo de petróleo en un 3.68%, esto representa un ahorro económico al año en \$ 94,975 USD.

En Colombia, el potencial de eficiencia energética en este sector mediante la implementación de las Mejores Tecnologías y Prácticas Disponibles a nivel mundial (BAT) aumenta entre un 5 y un 33 % (UPME et al., 2019). Dependiendo de las medidas disponibles en una caldera, de la frecuencia con la que varía tanto el rendimiento como el tipo de rendimiento a calcular, existen varios tipos de modelaciones matemáticas e implementaciones computacionales que se pueden utilizar para calcular el rendimiento (Amell-Arrieta & Vélez-Rueda, 2003; Tarasevich et al., 2020; Valencia-Ochoa et al., 2019; Zhou et al., 2002).

En otras revisiones, Kim, Lee, Tahmasebi, Jeon y Yu (2021) y Sankar, SanthoshKumar y Balasubramanian (2019) se centran en metodologías recientes relacionadas con la simulación computacional o numérica. Savargave y Lengare (2018) hacen una comparación entre varias metodologías de Inteligencia Artificial (IA), pero ninguna expone todas las metodologías existentes. Una consolidación desde un punto de vista matemático de esas metodologías proporciona una mejor visión de cuál de ellas es la más adecuada para una aplicación determinada.

En la tesis titulada “Evaluación del sistema de recuperación de purgas de fondo y de nivel de las calderas piro tubulares en la empresa pesquera Austral Group S.A.A. – Coischo”, Custodio & Solís (2017), Publicado por la Universidad Nacional del Santa, Chimbote, Perú. En este proyecto luego de la evaluación del sistema de recuperación tanto de purgas de fondo y de nivel de las calderas, luego de este estudio se determinó que se lograría una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 52.5% en un periodo de repago de inversión de 23 meses, logrando con este sistema un ahorro de 17,632.40 galones de petróleo R-500 por año, logrando mejorar la eficiencia de la planta en mención.

En la tesis titulada “Diseño técnico – económico de un sistema de recuperación de vapor flash de purgas continuas para calentar el agua de alimentación de las calderas de la empresa pesquera RIBAUDO S.A.” Purizaca, R. (2015), publicado por la Universidad Cesar Vallejo, Trujillo, Perú. El objetivo de este trabajo pretende diseñar un sistema para aprovechar el calor que se pierde en las purgas, luego de colocar un tanque de re vaporización logrando incrementar la temperatura del agua de alimentación de 60°C a 80°C, logrando un ahorro de 35.1 galones de combustible por hora, con este proyecto se logró

obtener un beneficio de 1,152,572 nuevos soles al año, esto con un retorno operacional de inversión de 2 meses.

En la tesis titulada “Implementación de un sistema de vapor flash para reducción del consumo de vapor en el área de cocción en la empresa pesquera centinela S.A.C.”, Urcia & Zavaleta (2016), publicado por la universidad del santa, Chimbote, Perú, cuyo propósito es la de instalar un sistema de vapor flash para recuperar los condensados provenientes de los equipos de secado logrando reducir el consumo del mismo en un 11.24% en dicha área, generando un ahorro de \$ 29.36 gl./h de petróleo esto equivale un ahorro económico de \$ 98356 resultando viable esta implementación.

En la tesis titulada “Dimensionamiento de un sistema de recuperación de calor a partir del condensado de purga de las calderas piro tubulares de 1000 BHP en planta pesquera Hayduk S.A.”, Paredes, G (2015), publicado por la universidad Cesar Vallejo, Trujillo, Perú, nos permite conocer la importancia del dimensionamiento de un sistema de recuperación de condensados en este caso provenientes de las purgas de fondo de las calderas y con esto poder reducir el consumo de petróleo, donde luego de varios cálculos en distintos escenarios se eligió al más eficiente el cual generaba que el consumo se reduzca en un 0.84% por cada caldera, logrando un ahorro mensual de S/ 224,984.37.

En el año 2016 los Ing. Reinier Jiménez Borges, Ing. José Alejandro Madrigal Monzón, Dr. C. T. Margarita Josefa Lapido Rodríguez y Ing. David Armando Vidal Moya realizaron una investigación titulada “Método para la evaluación de la eficiencia e impacto ambiental de un generador de vapor” donde expusieron un método para la evaluación de la eficiencia energética y el impacto ambiental de un generador pirotubular. Mediante el uso de equipos no invasivos como la cámara termográfica, medidor de flujo ultrasónico y analizador de gases de la combustión determinaron el perfil de temperatura superficial, el flujo de agua alimentar y la composición de los gases de la combustión, los cuales son necesarios para el cálculo del rendimiento energético aplicando los métodos convencionales directo e indirecto y la evaluación exergética que valora la irreversibilidad interna de la caldera. Obteniendo como resultados que la instalación evaluada tiene un rendimiento de 76,7 y 75,7 % por los métodos directo e indirecto respectivamente y un rendimiento exergético de 27 % para una temperatura de referencia de 27⁰C y combustible diesel valores que se corresponden con los rangos mostrados por diferentes autores a los cuales hacen

referencia en su investigación. Al aplicar los métodos convencionales de la transferencia de calor y el uso de la termografía obtuvieron un 13,7 % de la pérdida por radiación, valores referidos en los rangos obtenidos en calderas con sobredimensionamiento e insuficiente aislamiento como es el caso en el que realizaron la investigación, así como las pérdidas por calor sensible de 9,56 %, provocado en gran medida por el alto exceso de aire. De igual forma evaluaron el grado de sobredimensionamiento en instalaciones que trabajan subutilizadas en el momento de la inspección y estimaron el impacto ambiental que produce el funcionamiento de dicho equipo obteniendo que la caldera es potencialmente contaminante debido a que tiene un consumo de combustible al año de 48 180 l emite 134 422,2 kgCO₂/año al medio, aspecto que se extiende para diversas capacidades y tipo de combustibles en las 1 837 calderas instaladas en el país.

En el año 2016, Reinier Jiménez Borges, Luis Ángel Iturralde Carrera, José Pedro Monteagudo Yanes y Yoisdell Castillo Álvarez realizaron una investigación titulada “Pérdidas por radiación en generadores de vapor con el apoyo de la técnica termográfica” donde llevaron a cabo un análisis termográfico con ayuda de la cámara térmica testo-875 desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo al generador de vapor pirotubular modelo CMS/C-660, y se particularizaron en la dependencia que existe entre el rendimiento y la radiación que este equipo emite. Mediante el uso de la termografía determinaron las áreas con carencia de aislamiento en la superficie del generador, así como la cuantificación de las áreas seleccionadas como críticas mediante la modelación en 2D a partir del software AutoCAD 2019. De igual forma estimaron las pérdidas por radiación en cada una de las zonas críticas, donde la cuantificación de dicha pérdida reflejó deficiencias en el aislamiento térmico. Finalmente determinaron la cantidad de potencia irradiada al medio para cada una de las condiciones evaluadas, en el caso de las zonas críticas la potencia irradiada fue de 6 336 kJ/h mientras que para las zonas no-críticas 2 880 kJ/h, demostrándose el mal estado técnico en el generador de vapor.

En el año 2021, Sotero Trujillo Humberto Simón realizó una investigación basada en propuestas de mejoras en el área de calderas para reducir los costos de operación e la empresa pesquera CFG, en el cual analizó a partir de valores de productividad y medición de datos, empleando la técnica de diagrama de Pareto en función a los costos de operación de la empresa. Siendo el área de calderas la de mayor incidencia en la elevación de los

costos, debido a una no muy buena regulación del aire de combustión como también la temperatura con la que ingresa el agua a las calderas. Logrando mejorar la eficiencia de los calderos en promedio 85.58%, generando una reducción de costo de operaciones en S/ 14.25 y un ahorro anual en petróleo R-500 de S/ 417,165, además de elevar la temperatura del agua de alimentación a 95° C. La propuesta de mejora fue viable económicamente ya que generó un ahorro de S/ 590 a S/ 563.75 en costos de producción al año, todo este ahorro se logró reduciendo el consumo de petróleo R-500.

En el año 2022, Ahmet Fevzi Savaş y Ceyda Kocabaş realizaron una investigación titulada “Reducción de la pérdida de calor superficial en calderas de vapor” donde analizaron en detalle las pérdidas de calor que ocurren en la superficie exterior de una caldera de vapor utilizada en el proceso de destilación en una empresa textil. Escanearon con una cámara térmica todas las superficies de la caldera para determinar las áreas con problemas de aislamiento. Al dibujar la imagen esquemática de la caldera, las superficies laterales, la cubierta frontal, la cubierta trasera y partes de la tubería de humo, mostraron en diferentes colores las distribuciones de temperatura en diferentes partes de la caldera. Aunque la mayor parte de la pérdida de calor se produce en las superficies laterales de la caldera, observaron que estas superficies ya estaban aisladas y por este motivo elaboraron un diagrama de Pareto según la temperatura de la superficie para tener una idea de por dónde iniciar los estudios de mejora. Especialmente en las superficies frontal y posterior de la cubierta, midieron valores de alta temperatura y determinaron que la pérdida de calor en estas superficies también era alta. Por tanto, sugirieron que las superficies de alta temperatura deberían cubrirse con camisas y almohadillas aislantes.

Conclusiones parciales del capítulo 1

1. La aplicación de estrategias de eficiencia en los sistemas de generación de vapor es una necesidad en el contexto empresarial, por su contribución a la disminución de los consumos de combustible, la reducción de los costos operativos y la mejora ambiental.
2. En la revisión bibliográfica se puso de manifiesto que el diagnóstico es una herramienta clave en la determinación de los potenciales de ahorro.

3. Los estudios en calderas pirotubulares evidencian que las mayores pérdidas de calor que afectan la eficiencia son las de calor sensible en los gases de combustión y por radiación al medio.

CAPÍTULO II: DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE VAPOR DE LA ESTEC

En este capítulo se presenta el diagnóstico energético del sistema de generación de vapor de la ESTEC, a partir de la descripción de las metodologías, pruebas de campo, equipos e instrumentación, así como del análisis de los indicadores de línea base energética en la empresa y en la caldera objeto de estudio.

Los principales métodos y herramientas utilizadas fueron la revisión bibliográfica, la observación visual, la entrevista, las mediciones de campo con técnicas termografías, el diagrama de Pareto, diagrama de causa efecto (Ishikawa), el Software IRISoft5, los cálculos analíticos para la determinación de la eficiencia bruta de la caldera, la ingeniería de selección y el análisis de efecto económico. Se tuvieron en cuenta recomendaciones de las bases de revisión energética de la norma ISO 50 001:2018; recomendaciones de CONUE, 2021 sobre diagnóstico energético en sistemas de generación; el Proyecto de eficiencia energética en Argentina, 2007; además de investigaciones realizadas por Borges (2021), Lapido (2004) y Borroto (2002).

2.1. Caracterización general de la empresa objeto de estudio

La Empresa de Servicios Técnicos y Especializados Cienfuegos, en su forma abreviada, ESTEC, fue creada mediante Resolución No. 68, con fecha 17 de febrero del 2005 del Ministerio de Energía y Minas; con domicilio legal en carretera Castillo de Jagua, Municipio de Cienfuegos. Su objeto empresarial abarca los servicios técnicos especializados de montaje, mantenimiento, modernización y reparación de equipos. En correspondencia, cuenta con los recursos humanos, medios e instalaciones para cumplimentar este objeto, y las potencialidades necesarias para ampliar el alcance de sus acciones hacia nuevas actividades.

En el **Anexo 2.1** se presenta el organigrama de la empresa, donde se puede ver la estructura y sus niveles de dirección, con las diferentes Unidades Empresariales de Base, así como la distribución de trabajadores por área (**Anexo 2.1a**).

Dentro de la planeación estratégica y para el logro de las funciones, la ESTEC tiene definidas la misión y visión siguientes:

Misión: Prestar Servicios Técnicos y Especializados a la UNE, con un nivel de calidad que satisfaga los requisitos del cliente, alta profesionalidad y en un clima laboral que eleve el nivel de satisfacción de nuestros trabajadores.

Visión: Nuestra organización tiene la visión de aumentar el posicionamiento dentro del MINEM, desarrollando nuevas tecnologías, certificando los sistemas de gestión y logrando un cambio de imagen corporativa que le asegure la permanencia en el mercado.

Existe una Política Integrada de Gestión que es compatible con el contexto y dirección estratégica de la empresa, y proporciona un marco de referencia para el establecimiento de los objetivos.

El esquema de proceso general de la organización se presenta en el **Anexo 2.2**

Los servicios técnicos y especializados de la ESTEC están dirigidos al sistema UNE, sector estratégico que está integrado por empresas como las termoeléctricas, los grupos electrógenos de fuel oil y diésel, así como a las empresas nacionales de apoyo; como objeto secundario, la empresa ofrece servicios de alimentación, específicamente a las empresas del sistema que están establecidas en el territorio. Aunque este servicio está declarado como una actividad secundaria, en la práctica, sobresale como una de las principales fuentes de ingreso económico en la empresa, con ventas anuales que superan 20 MMP, las cuales representan 43 % de las ventas totales, y 92 % de las ventas de la UEB de Servicios Generales. El impacto social del servicio de alimentación también es significativo, teniendo en cuenta su contribución a la atención y al bienestar del trabajador eléctrico.

Si bien la ESTEC ha implementado medidas para el ahorro de combustible, a partir de indicaciones de la Unión Eléctrica y las iniciativas de la propia entidad, todavía existen potenciales de reducción importantes, específicamente, asociados al servicio de alimentación, donde se utiliza vapor saturado, generado en calderas pirotubulares, a partir de la combustión de Diesel. El consumo de este portador eleva los costos operativos de la ESTEC y, en particular, los costos energéticos, la dependencia de energía importada, además del impacto negativo al medio ambiente.

2.1.1 Gestión energética empresarial

La ESTEC aplica actualmente el Sistema de Gestión de la Energía ISO 50001:2012. Para el cumplimiento de su misión, la dirección mantiene su compromiso con los principios de

ahorro energético, el incremento de la eficacia, la eficiencia y la garantía de la prestación de los servicios declarados en el objeto empresarial.

Según el procedimiento de la empresa, están implementadas auditorías energéticas, acciones de mantenimiento regular, medidas para la reducción de los consumos de combustible y se gestiona la demanda de vapor.

El programa de ahorro de portadores energéticos de la entidad, no incluye el sistema de generación de vapor (**Anexo 2.3**)

2.1.2 Análisis de portadores energéticos

En la **Fig.2.1** se representan los costos energéticos (MP), como parte de la estructura de los costos operativos de la entidad, en los años 2021, 2022 y 2023. Los resultados ponen de manifiesto que la empresa objeto de estudio es energéticamente intensiva, y se justifica la aplicación de estrategias de eficiencia.

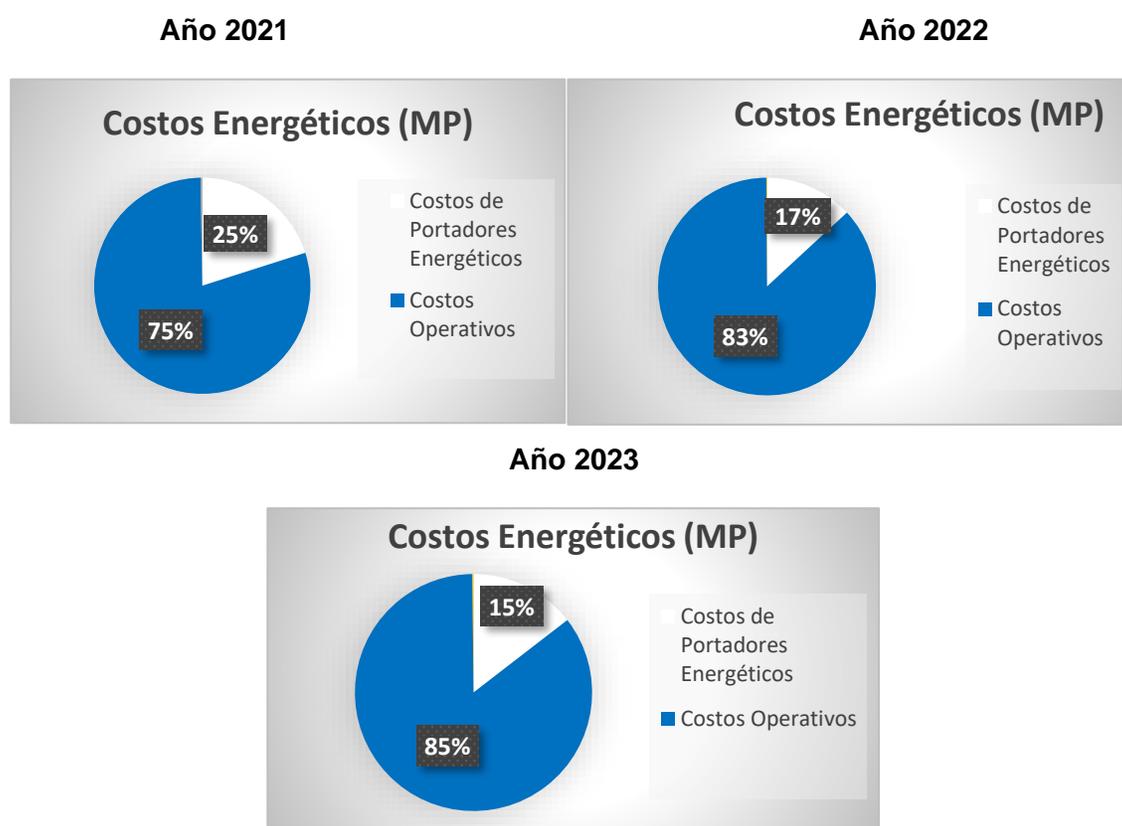


Fig. 2.1. Estructura de los costos energéticos en los costos operativos, ESTEC.

Fuente: Elaboración Propia

En las Fig. 2.2 y Fig. 2.3 se representan los costos energéticos anuales (MP) por portador en los años 2022 y 2023, mediante un diagrama de Pareto, el cual fue utilizado como herramienta estadística de priorización, con el objetivo de identificar el 20 % de los portadores energéticos que producen el 80% de los costos energéticos de la empresa.

Como se puede observar, en el transcurso de 2023, el Diesel ha tenido un impacto significativo en los costos energéticos totales de la empresa, lo que destaca la necesidad de priorizar estrategias de eficiencia relacionadas con su uso.

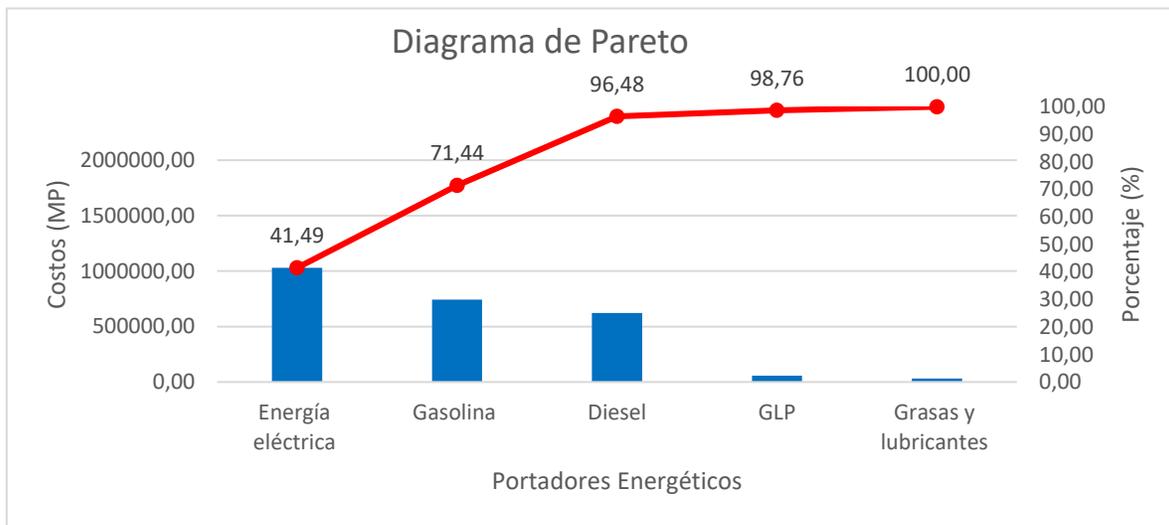


Fig. 2.2. Costos por portador energético en la ESTEC, año 2022.

Fuente: Elaboración Propia

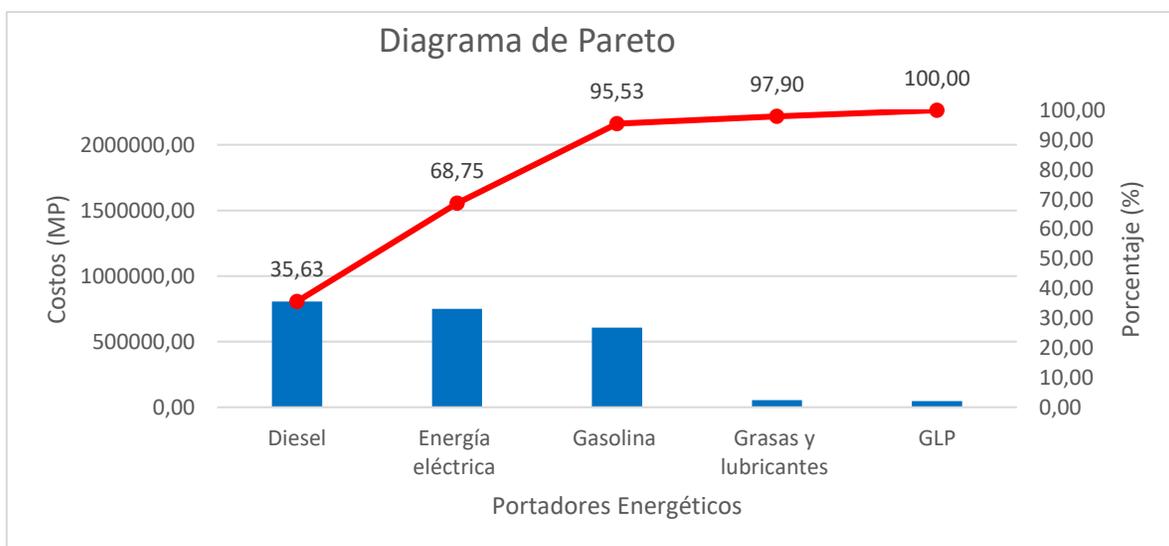


Fig. 2.3. Costos por portador energético en la ESTEC, año 2023.

Fuente: Elaboración Propia.

2.2 Desarrollo del diagnóstico energético

La metodología utilizada para el diagnóstico del sistema de generación de vapor se basó en algunas recomendaciones del apartado de la revisión energética de la norma ISO 50001:2018 para una empresa; recomendaciones de CONUE, 2021, en el trabajo: Metodología para el “Diagnóstico energético en sistemas de generación y distribución de vapor”, el Proyecto de eficiencia energética en Argentina, 2007 y la GM – 23, Revisión Energética Inicial - Planificación Energética, 2021.

En la fase de preparación se priorizó la conformación de un equipo de trabajo, que estuvo integrado por el personal técnico del área de calderas, mantenimiento, ingeniería y seguridad. Las funciones principales estuvieron dirigidas al análisis del proceso, la recopilación de información general sobre las características de diseño y operación del sistema quemador - caldera, los parámetros técnicos y económicos fundamentales, así como la revisión del procedimiento de operación, mantenimiento, los registros y el programa de mantenimiento.

Las principales etapas de la metodología se resumen en la **Fig. 2.4**.

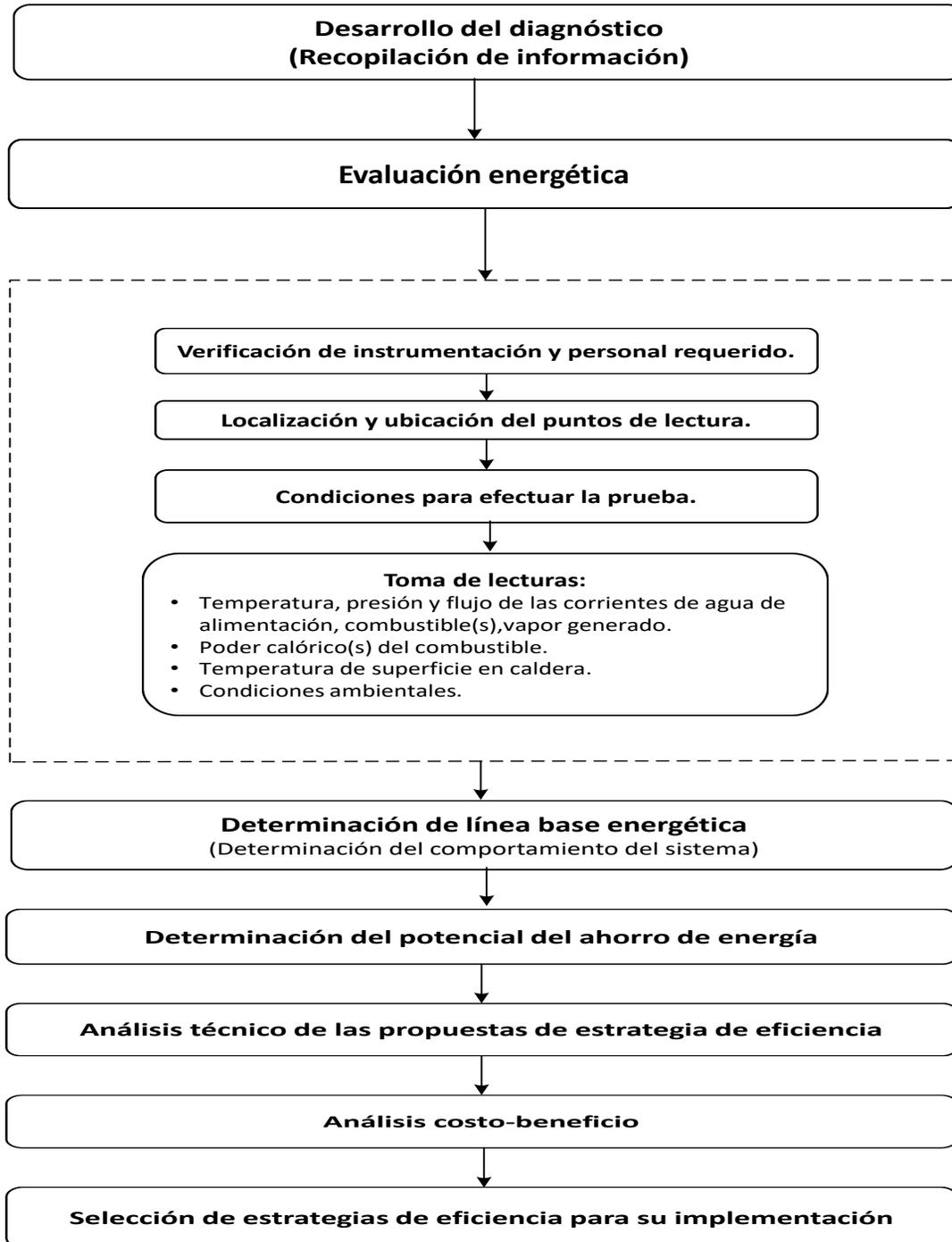


Fig. 2.4 Metodología del diagnóstico energético aplicado en el sistema de generación de vapor, ESTEC. Fuente: Elaboración propia.

2.2.1 Técnicas de recopilación de datos

En la **Tabla 2.1** se resumen las principales técnicas e instrumentos aplicados para la recopilación de los datos del sistema de generación de vapor, donde se incluyó la revisión de los métodos de trabajo, los registros con los consumos de la caldera, incidencias de mantenimientos y prácticas, así como entrevistas al personal.

Tabla 2.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Fuente: Elaboración propia

Método	Técnica	Instrumento	Justificación	Aplicación
Cuantitativo	Entrevista	Guía de preguntas	Diagnóstico del área de calderas	Energético del área, operador, jefe de mantenimiento
	Análisis de datos	Memoria descriptiva del proyecto de ingeniería de la caldera; libro de incidencias; instrucción de operación; programa de mantenimiento; procedimiento de mantenimiento; catálogo del quemador.	Obtención de datos históricos de consumos	Energético
	Mediciones	Instrumentos instalados en caldera	Diagnóstico a partir de la determinación de la eficiencia de	Caldera pirotubular

		Cámara termográfica	caldera y las pérdidas de calor sensible y por radiación	
Observación	Observación directa	Apuntes	Diagnóstico de la caldera y del quemador	Observación directa del sistema caldera - quemador

2.2.2. Descripción del sistema de generación de vapor (caldera – quemador).

El sistema de generación de vapor de la ESTEC consta de dos calderas pirotubulares, sin embargo, a partir de los problemas tecnológicos presentados y la reducción temporal del consumo térmico, en la actualidad sólo se utiliza una caldera. El caso de estudio corresponde a un generador del tipo pirotubular, modelo Lambda 250, fabricado en el año 1978 en Cuba, bajo la licencia de la Constructora Fielo S.A. Barcelona (**Fig. 2.5**). Los parámetros técnicos principales se presentan en la tabla 2.2.



Fig. 2.5 Caldera pirotubular modelo Lambda 250.

Tabla 2.2. Principales características técnicas del generador de vapor Lambda 250.

Fuente: Memoria descriptiva del proyecto de ingeniería de detalle de la caldera.

Características	Parámetros
Producción de vapor nominal	284 kg/h
Consumo máximo de combustible	17,55 kg/h
Volumen de agua	1 m ³
Superficie de calefacción	8,47 m ²
Presión de diseño	980,6 kPa
Presión de prueba hidráulica	14 Kgf/cm ²
Presión máxima de trabajo	10 Kgf/cm ²
Peso de la caldera seca	3,66 t
Peso de la caldera en operación	5,56 t

Las especificaciones técnicas del quemador se obtuvieron como parte de la revisión del catálogo del fabricante (**Fig. 2.6**); la marca es BALTUR TBL 45P, con una potencia térmica mínima de 160 kW_t, y una potencia máxima de 450 kW_t, en correspondencia con los flujos de combustible mínimo y máximo, de 13 kg/h y 38 kg/h, respectivamente. El quemador es de doble etapa (dos fuegos) y utiliza la pulverización mecánica.

baltur

Energy for People

Quemadores

CÓDIGO 35715410

TBL 45 P 220 60HZ



Quemador de gasóleo. Funcionamiento doble etapa

Quemador de bajas emisiones de NOx y CO según la normativa europea EN267: clase 2.

Ajuste del aire comburente y de la cabeza de combustión

Toma de aire de combustión con mampara de mariposa. Regulación del caudal del aire con gato hidráulico.

Fácil mantenimiento al poder extraer el grupo pulverizador sin desmontar el quemador de la caldera.

Brida de conexión al generador corrediza para adaptar el saliente del cabezal a diferentes tipos de generadores de calor.

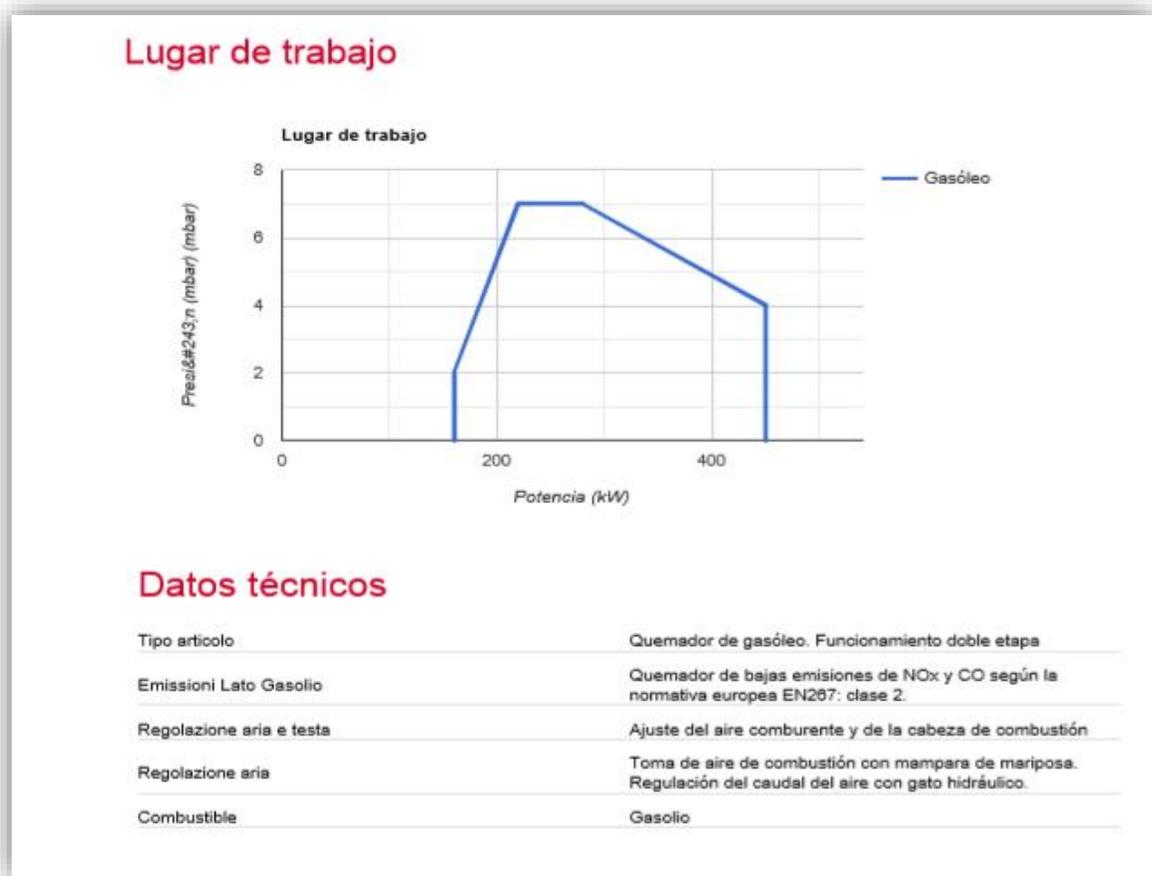
Circuito de alimentación de combustible formado por bomba de engranajes con ajuste de la presión, válvulas de cierre y válvula de seguridad.

Control de la presencia de la llama mediante fotorresistencia.

Conector de 7 bornes para la alimentación eléctrica y termostática del quemador.

Conector de 4 bornes para accionar la segunda etapa de funcionamiento.

Instalación eléctrica con grado de protección:



Funcionamiento	Bistadio
Potencia Térmica Mínima (kW)	160
Potencia Térmica Máxima (kW)	450
Caudal Mín (Sm ³ /H)	13
Caudal Máx (Sm ³ /H)	38
Manutenzione facilitata	Fácil mantenimiento al poder extraer el grupo pulverizador sin desmontar el quemador de la caldera.
Viscosidad Máx (°E)	1.5

Fig. 2.6. Especificaciones técnicas del quemador BALTUR TBL 45P.

Fuente: Ficha técnica del catálogo del fabricante.

En el **Anexo 2.5** se muestra la guía de preguntas utilizada en la entrevista, con el energético del área, operador de caldera y el jefe de mantenimiento, para la recolección de datos fundamentales sobre la operación y el mantenimiento del sistema de generación de vapor.

2.2.3 Consumo de combustible en la generación de vapor: línea base energética.

En la **Fig. 2.7** se muestran los consumos de combustible registrados por la empresa hasta octubre de 2023, los cuales se corresponden con una producción de vapor de aproximadamente 50 % de la capacidad nominal. La instalación objeto de estudio trabaja en régimen no estacionario, es decir con arranques y paradas, en función del consumo térmico de las marmitas para la cocción de alimentos

Durante los meses de febrero y marzo se presentaron las mayores desviaciones del consumo; a partir de estas afectaciones, la empresa gestionó acciones de mantenimiento en los meses de abril y mayo, con el objetivo de resolver dificultades con el aislamiento térmico, y solucionar otros problemas menores. No obstante, a partir de junio, se observa nuevamente, una tendencia marcada al incremento del consumo (aprox. 20 %).

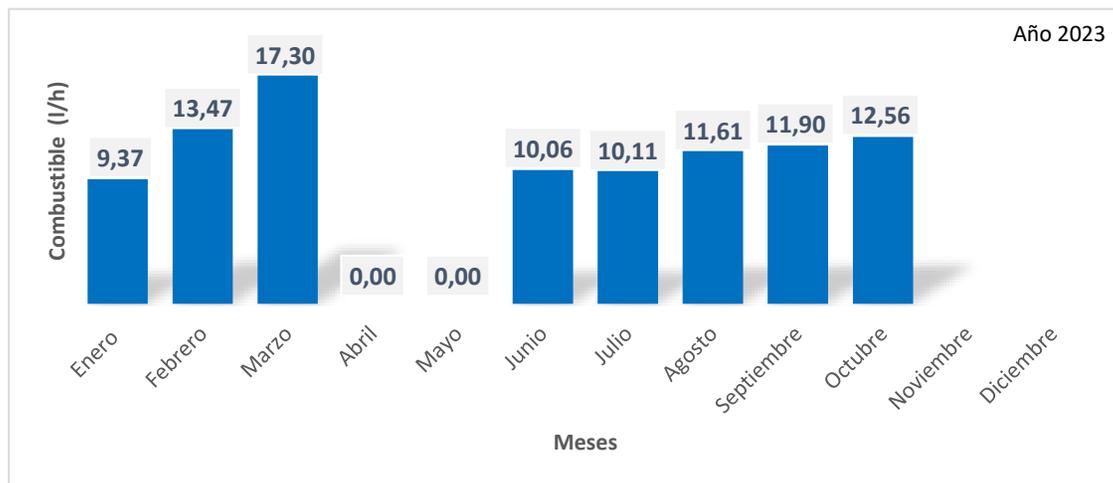


Fig. 2.7. Índices de consumo de combustible hasta octubre 2023, ESTEC.

Fuente: Elaboración propia

En las investigaciones reportadas por Brandon, 2021, se analizaron los índices de desempeño para el generador de vapor y el ciclo de cocción de alimentos, mediante cantidad de combustible, expresada en litros por raciones. En las **Fig. 2.8** se muestra el

comportamiento de este índice de desempeño en el proceso de elaboración de alimentos de la ESTEC. El valor establecido para la empresa es de 0,020 l/rac.

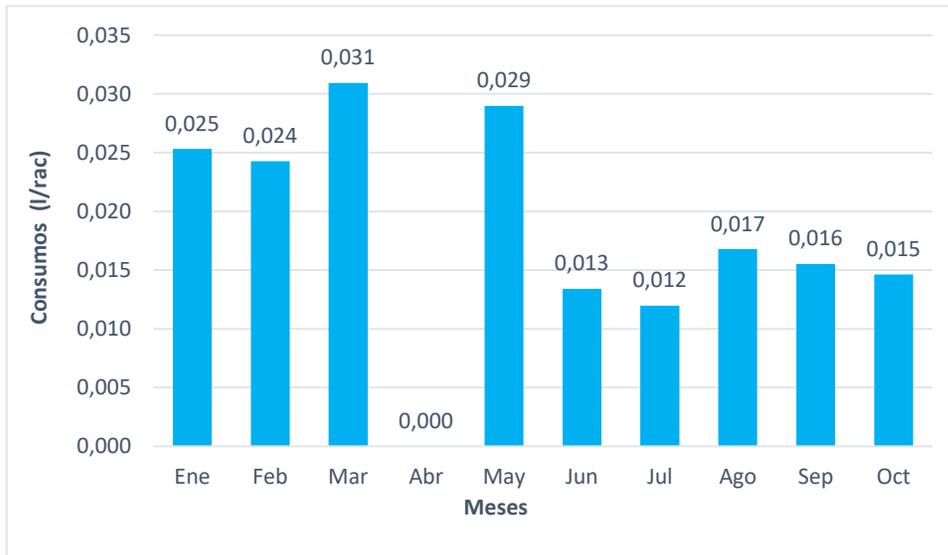


Fig. 2.8. Índices de consumo de combustible por raciones hasta octubre 2023, ESTEC.

Fuente: Elaboración propia.

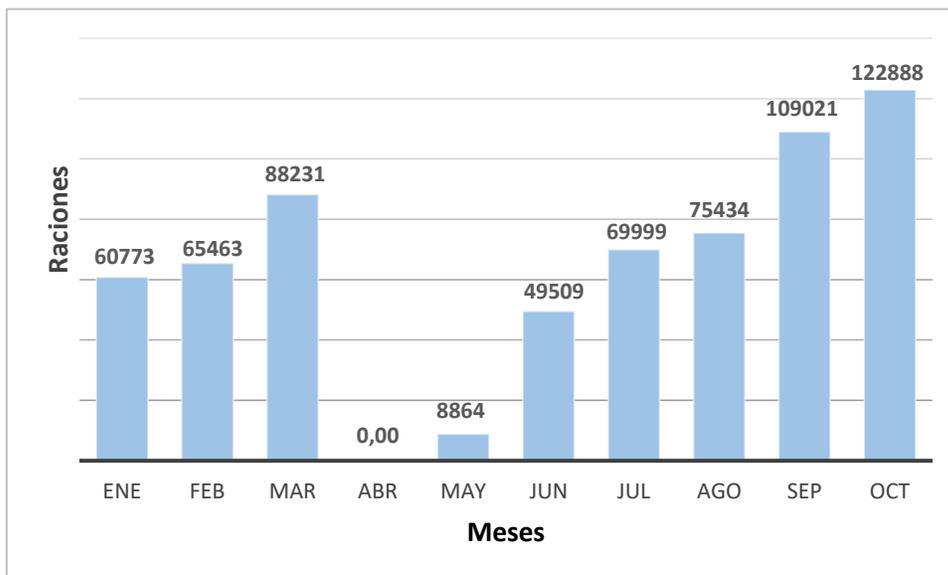


Fig. 2.8. Comportamiento de las raciones de alimentos hasta octubre 2023, ESTEC.

Fuente: Elaboración propia.

2.3 Métodos para la evaluación energética

Para realizar la evaluación energética del generador de vapor se desarrolló la ingeniería de campo, a partir de mediciones in situ. Las pruebas se realizaron con intervalos regulares, con el objetivo de garantizar la calidad de las mediciones.

Antes de iniciar las pruebas, se realizó una inspección para comprobar la operación de los instrumentos de la caldera. Los trabajos sólo se realizaron a baja carga, por las características actuales del proceso productivo (bajo consumo térmico).

La medición del flujo de combustible se realizó a partir de la calibración del tanque; de igual forma para la medición de la producción de vapor, como la caldera es de pequeña capacidad, se utilizó la calibración del tanque de agua de alimentar, registrando los niveles al inicio y al final de la prueba, con la precaución de no bombear en este período. En el **Anexo 2.5** se presenta un resumen de las mediciones realizadas en la caldera.

2.3.1 Análisis termográfico en superficies de caldera

Existen múltiples evidencias del uso de la termografía para la estimación de las pérdidas de calor por radiación en superficies de calderas (Tanquero, et al., 1987) (González, 2007) (Borges, 2021)

Como parte de esta evaluación, se utilizó esta técnica para estudiar el comportamiento de las temperaturas en las diferentes superficies de la caldera estudiada, teniendo en cuenta los problemas de aislamiento identificados en la observación visual, y el potencial de incremento de eficiencia energética que significa la reducción de estas pérdidas en las calderas pirotubulares (Ahmet Fevzi Savaş & Ceyda Kocabaş, 2022)

Se midieron la temperatura del ambiente y se escanearon las superficies frontal y posterior de la caldera, así como las paredes laterales y el conducto de gases, con una cámara termográfica. En la **Tabla 2.3** se presentan las características técnicas de la cámara utilizada.

Tabla 2.3. Características técnicas de la cámara termográfica

Medición	Valores
Rango	-30 a +100 °C / 0 a +350 °C
Exactitud	±2 °C, ±2 % del valor medido

Medición de alta temperatura - opcional	+350 ... +550 °C
Exactitud	±3 % del v.m. a +350 ... +550 °C
Emisividad / temperatura reflejada	0.01 ... 1 / manual
Temperatura funcionamiento	-15 ... +40 °C
Temperatura almacenamiento	-30 ... +60 °C
Humedad del aire	20 a 80 % HR sin condensación
Peso	900 g

Para el procesamiento de las imágenes termográficas se utilizó el Software IRISoft, el cual permite el manejo de las imágenes a una escala visual con alta calidad, y posibilita el ajuste en la emisividad del material. Este software proporciona los perfiles completos de temperatura en la zona estudiada, con los campos isotérmicos, la temperatura promedio, el punto más frío y más caliente en una zona determinada, la superposición de la imagen real con la termográfica, así como los histogramas con las frecuencias absolutas y relativas de las temperaturas en las superficies.

2.3.2 Potencia térmica del quemador y margen de regulabilidad

La potencia térmica de un quemador es la cantidad de calor que se desprende en la unidad de tiempo, durante la combustión de la cantidad del combustible B_c (kg/s), con un valor calórico inferior Q_i^t (kJ/kg); (Rodríguez et al., 2020).

$$Q_T = Q_i^t B_c; [kW]$$

Ec.2.1

La potencia térmica puede ser máxima, nominal y mínima. La máxima se alcanza cuando el quemador trabaja con el mayor consumo de combustible, en condiciones estables; la nominal se considera la potencia térmica que logra el quemador con mínimo coeficiente de exceso de aire en un proceso de combustión completa; y la mínima es la que se logra con un mínimo de combustible, sin perder la estabilidad de la llama.

Se conoce como margen de regulación a la relación entre la potencia térmica máxima y mínima de un quemador. Normalmente, el margen de regulación se indica por la expresión 1: n, refiriéndose 1 a la potencia máxima y n el factor por el que hay que dividir para obtener la mínima.

2.3.3 Eficiencia del generador de vapor por el método directo

Para calcular la eficiencia de la caldera (η), por el método directo, se divide la producción total de energía de una caldera, por la entrada total de energía:

$$\eta = \frac{Q(H - h)}{q * Gcv} * 100 \quad \text{Ec.2.2}$$

Donde,

Q: Cantidad de vapor generado; kg/h.

q: Cantidad de combustible; kg/h

H: Entalpía del vapor; kJ/kg.

h: Entalpía del agua de alimentar; kJ/kg.

Gcv: Poder calorífico superior del combustible; kJ/kg

La razón de evaporación (r) se calcula:

$$r = \frac{Q}{q} \quad \text{Ec.2.3}$$

El sobreconsumo de combustible por bajo rendimiento se calcula:

$$\frac{\eta_{nominal} - \eta_{real}}{100} * \text{Consumo de combustible en el período} \quad \text{Ec.2.4}$$

2.4 Método para identificar relación causa- efecto

Como parte del diagnóstico energético, se utilizó el diagrama Diagrama causa raíz (Ishikawa), para representar las causas principales de los problemas del sistema de generación de vapor. El uso de esta técnica es fundamental en el proceso de la propuesta de estrategias de eficiencia, y en el apoyo de la toma de decisiones.

El diagrama de Ishikawa posibilita organizar lógicamente las posibles causas de un problema o efecto específico; al mostrarlas gráficamente con mayor detalle, contribuye al proceso de elaboración de acciones, destinadas a brindar soluciones efectivas que eliminen el problema desde la detección de la causa raíz.

De esta manera es más fácil saber dónde aplicar cambios en estrategias o tácticas; ayuda a mejorar la toma de decisiones, contribuye a un mejor ambiente laboral, así como a la identificación de áreas que requieran de capacitación y motivación de los empleados.

2.4.2 Análisis del efecto económico

Para realizar el análisis del efecto económico de las principales estrategias propuestas se tuvo en cuenta el precio actual del combustible diesel en el mercado mayorista, el cual está en el orden de 12,60 \$/l, así como el de los quemadores suministrados por ALASTOR, Cienfuegos, que es de aprox. según información de los suministradores en el país.

2.4.3 Determinación del impacto ambiental

Las calderas pequeñas son potencialmente contaminantes. Las condiciones de bajo factor de carga, unido a los problemas de combustión que se presentan con mucha frecuencia, como resultado de un deficiente mezclado, los cambios de combustible y otros factores, provocan emisiones de gases y partículas de combustible contaminantes a la atmósfera.

Para estimar el impacto ambiental que produce una caldera, se determina la cantidad de CO₂, que se emite al ambiente.

$$CO_2 = F_e * C_c \quad \text{Ec.2.5.}$$

Donde:

F_e : Factor de emisión

C_c : Consumo de combustible en el año; l/h.

Conclusiones del capítulo 2

1. La aplicación de un diagrama de Pareto para el análisis de los costos por portador energético en el año 2023, permitió identificar que el Diesel tiene un impacto significativo en los costos energéticos totales de la empresa, lo que destaca la necesidad de priorizar estrategias de eficiencia relacionadas con su uso.
2. Se obtuvo la línea base energética del consumo de combustible del generador de vapor, a partir de la cual se pueden establecer potenciales de ahorro y proponer estrategias de eficiencia energética.
3. El análisis de los consumos de combustible en caldera, registrados en 2023, arrojó que los mayores consumos se produjeron en los meses de febrero y marzo; no

obstante, a pesar de las acciones de mantenimiento ejecutadas, se observó una tendencia al incremento a partir de junio, lo cual justifica la necesidad de aplicar un diagnóstico en el generador de vapor.

4. La metodología utilizada para el diagnóstico energético se basó en la combinación de pruebas de campo, técnicas termográficas, cálculos analíticos, softwares, así como herramientas de análisis como los diagramas de Pareto e Ishikawa.

CAPÍTULO III: ESTRATEGIAS DE EFICIENCIA PARA LA MEJORA DE LA GESTIÓN ENERGÉTICA EMPRESARIAL

En este capítulo se describen los potenciales de ahorro identificados en el diagnóstico energético, aplicado en el sistema de generación de vapor de la ESTEC; las propuestas de estrategias de eficiencia, así como el análisis del efecto económico y el impacto ambiental. Sobresale entre las estrategias, la selección de un nuevo quemador con un margen de regulabilidad que se ajusta a la potencia térmica de la caldera Lambda 250, con el cual se obtienen mejoras económicas y ambientales para la empresa objeto de estudio.

3.1. Potenciales de ahorro identificados en el diagnóstico energético

▪ **Incompatibilidad quemador - caldera**

La revisión de las características básicas del diseño de la caldera Lambda 250, a partir de las especificaciones del catálogo del quemador BALTUR 45P y la memoria descriptiva del proyecto de ingeniería de detalle para su montaje, arrojaron problemas de incompatibilidad en el sistema quemador- caldera.

Según los datos de la caldera, el flujo máximo de combustible requerido para la máxima carga, es de 17,55 kg/h, equivalente a 207 kW_t, sin embargo, la potencia térmica mínima del quemador es de 160 kW_t, y la máxima de 450 kW_t.

Normalmente, los quemadores están diseñados para proporcionar 120% de su liberación de calor normal en condiciones de máxima potencia, sin embargo, en este caso la liberación de calor máxima es de aproximadamente, 217 %, lo que significa un sobredimensionamiento de la potencia térmica. Por tanto, el quemador BALTUR 45 P, no se ajusta a los requerimientos de la caldera Lambda 250.

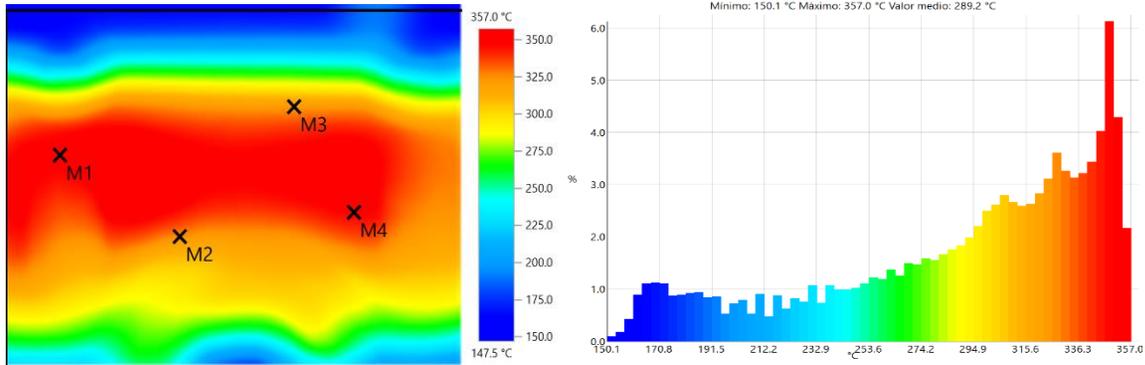
Esta incompatibilidad quemador – caldera provoca que, durante la operación a bajas cargas, como es el caso de las condiciones actuales, empeoren las condiciones de mezclado y el quemador, aunque funcione con estabilidad, trabaje con muy baja eficiencia en el proceso combustión, al disminuir al mínimo las velocidades de las corrientes de aire.

Otro elemento importante, es que cuando los quemadores tienen una potencia térmica excesivamente alta, se producen altas temperaturas en la cámara de combustión, altas temperaturas en los gases de combustión de salida, incrementos de temperatura en las superficies de caldera, lo que eleva los costos energéticos y de mantenimiento.

▪ **Altas temperaturas en superficies de caldera**

Los resultados de la termografía en las superficies frontal, trasera y en las paredes laterales de la caldera se muestran en la **Fig. 3.1**.

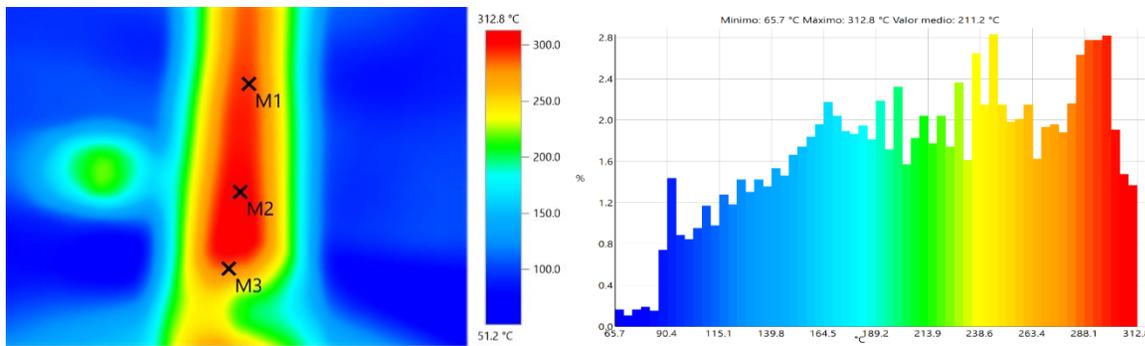
Parte frontal



Termografía

Histograma

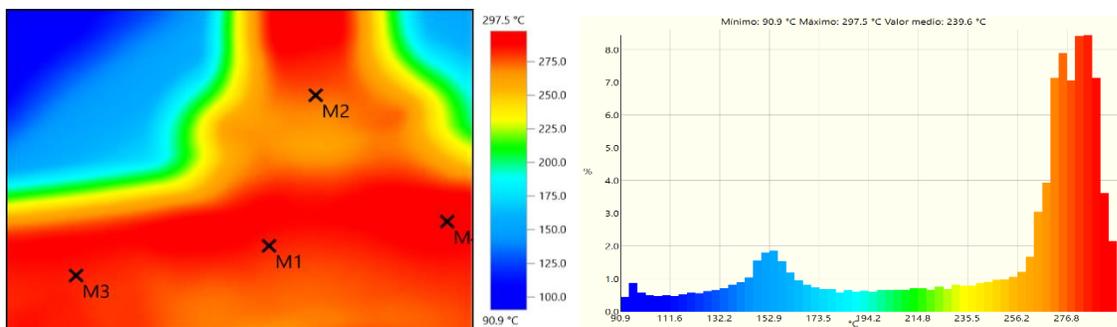
Conducto de gases de salida



Termografía

Histograma

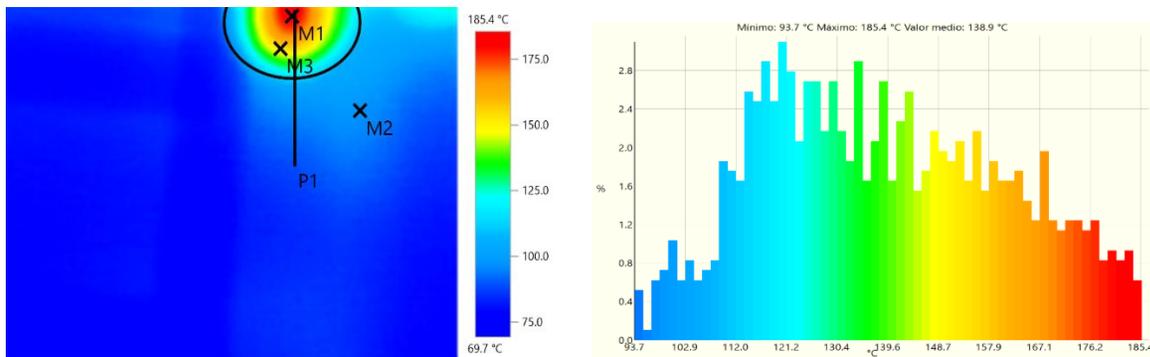
Parte trasera



Termografía

Histograma

Parte lateral



Termografía

Histograma

Fig. 3.1 Imágenes termográficas con histogramas de las superficies de caldera, Lambda 250.

Los valores mínimos, máximos y medios de las temperaturas en las diferentes superficies, obtenidos a partir del Software IRISoft5, se resumen en la **Tabla 3.1**. Como se puede observar, las temperaturas superan 50 °C, en todos los casos. Los valores más significativos se obtuvieron, como era de esperar, en las superficies frontal y trasera, las cuales no estaban insuladas (289,2 °C y 239,6 °C, respectivamente); estos resultados superan en 119 °C y 87 °C, respectivamente, los rangos obtenidos por Borgues, 2021, en sus estudios termográficos en calderas pirotubulares, donde las pérdidas por radiación y convección, alcanzaron valores de 1,7 % y 10,1 %, respectivamente.

Las paredes laterales, a pesar de estar insuladas recientemente, mostraron también altas temperaturas (138,9 °C y 133 °C, respectivamente), lo que responde, básicamente, al sobredimensionamiento de la potencia térmica del quemador BALTUR 45P (incompatibilidad del sistema quemador – caldera).

Tabla 3.1 Análisis comparativo de las mediciones de la temperatura por termografía en la caldera Lambda 250

Superficies de caldera	T (°C) min-máx.	T (°C) Media	T (°C) (Borges, 2021)	T(°C) Medias	q ₅ (%), (Borges,2021)
Superficie frontal	150,1-357,0	289,2	170,25	118,95	1,70
Superficie trasera	90,9-297,5	239,6	151,67	87,33	10,1

Superficie lateral derecha	92,5-183,2	133,9	40,9	93	2,90
Superficie lateral izquierda	93,7-185,4	138,9	42	96,9	

A partir de los resultados de las temperaturas medias en superficies de caldera, se elaboró un diagrama de Pareto para establecer la estrategia de insulación. Como se puede observar en la **Fig. 3.2**, los resultados de la aplicación de esta herramienta destacan la necesidad de priorizar, en este mismo orden, la superficie frontal, trasera, el conducto de gases y la lateral izquierda.

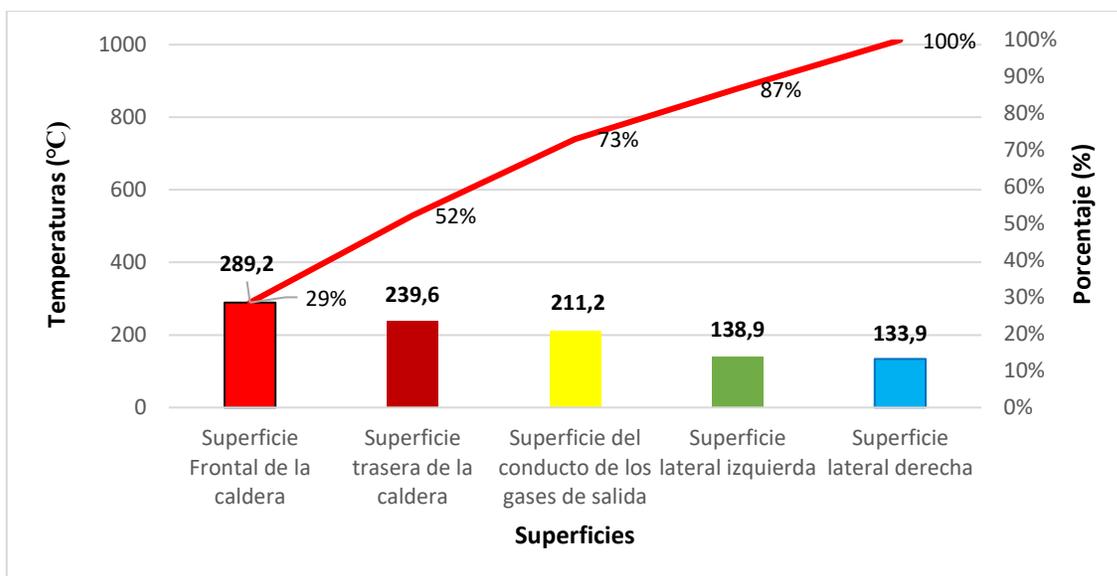


Fig. 3.2 Diagrama de Pareto de temperatura superficial de la caldera objeto estudio.
Fuente: Elaboración propia

De igual forma, en la **Fig. 3.3**, los resultados en la revisión del artículo “Reducción de pérdidas de calor superficial en calderas de vapor (Ahmet Fevzi Savaş & Ceyda Kocabaş,2022) mostraron que los mayores valores de temperatura se alcanzan en la superficie frontal, superficie trasera y la superficie del conducto de los gases de salida, que representan el 80% de las pérdidas de calor por radiación.

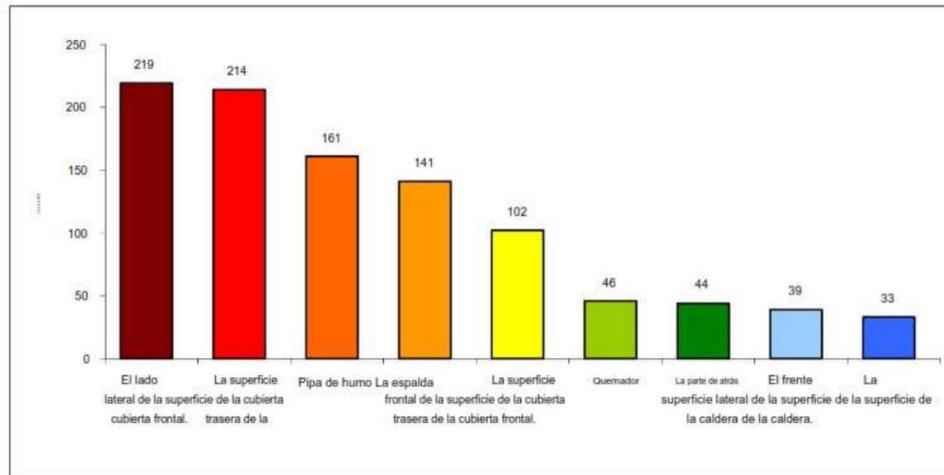


Fig. 3.3. Diagrama de Pareto de temperatura superficial. Fuente: Artículo (Ahmet Fevzi Savaş & Ceyda Kocabaş,2022)

▪ **Evaluación visual de la llama del quemador Baltur TBL 45P**

Como parte de las pruebas de campo, en la **Fig 3.4** se observan las imágenes del quemador BALTUR en explotación, al mismo, se le realizó una inspección visual de la llama, donde se observaron abundantes inquemados, para condiciones de operación de flujo mínimo (50 % de carga nominal).



Fig 3.4 Imágenes del quemador BALTUR en explotación.

En la **Fig. 3.5** se presenta un diagrama causa efecto, donde se resumen y visualizan las 12 causas principales que provocan el sobreconsumo de diesel en la caldera estudiada (potenciales de ahorro).

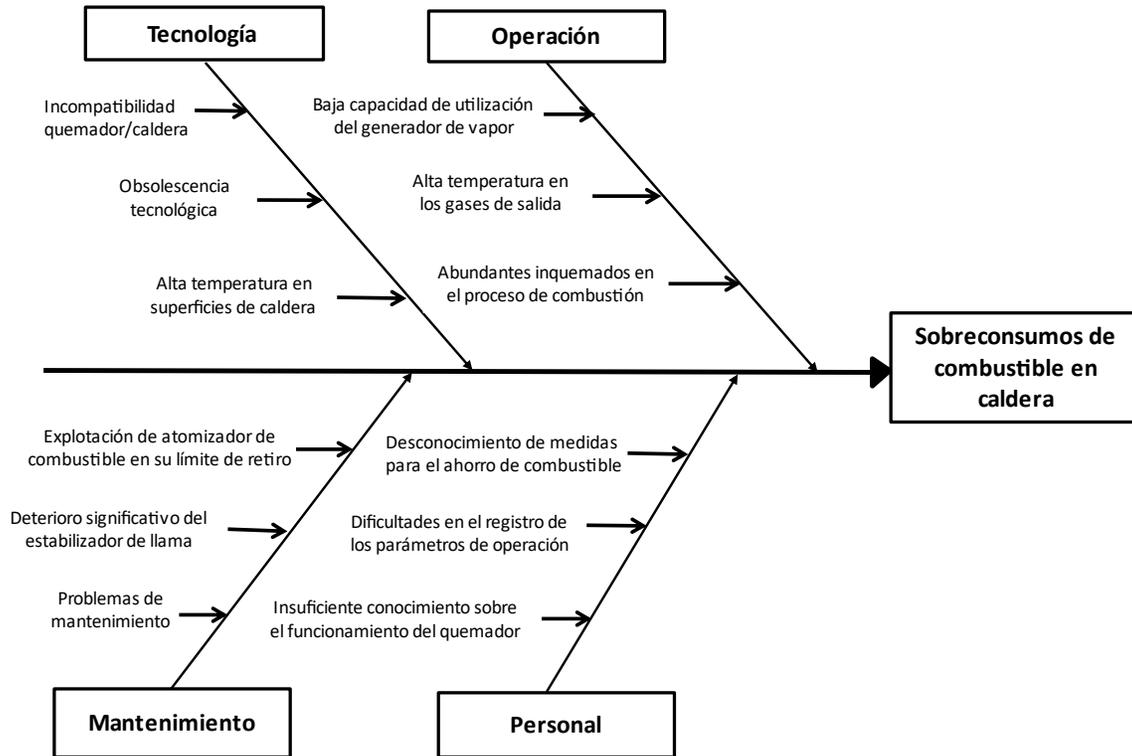


Fig. 3.5 Diagrama Ishikawa de las principales causas de los sobreconsumos de combustible en la caldera, ESTEC.

3.2. Propuestas de estrategias de eficiencia en el sistema de generación de vapor.

En la **Tabla 3.2** se presentan las principales estrategias de eficiencia propuestas a partir del empleo del diagrama Ishikawa, lo que permitió la identificación de los potenciales de ahorro.

Tabla 3.2 Estrategias de eficiencia propuestas para la caldera estudiada

Principales estrategias de eficiencia	
Tecnológico	-Sustituir el quemador actual por un quemador, con una potencia térmica que se ajuste a los requerimientos de la caldera.
Operacional	-Elevar el factor de utilización de la caldera (actual 50%)

	-Sustituir el atomizador de combustible aproximadamente cada 7000 h de explotación, antes del límite de retiro.
Mantenimiento	-Insulación térmica de las paredes frontal, trasera y los gases de salida, incluir esta estrategia en el plan de mantenimiento de la empresa. -Actualizar el procedimiento de los mantenimientos de la caldera.
Personal	-Capacitación del personal para mejorar las prácticas operacionales y de mantenimiento. -Incluir las estrategias de eficiencia en el generador de vapor en el programa de ahorro de la ESTEC. -Mejorar los registros para el control de los parámetros operacionales de caldera.

Las especificaciones técnicas del quemador seleccionado para la caldera se presentan en la **Fig. 3.6** En este caso es un quemador BALTUR 45P, cuyo margen de regulabilidad se corresponde con los requerimientos de la caldera estudiada.





Datos técnicos

Tipo artículo	Quemador de gasóleo. Funcionamiento mono etapa
Regolazione aria e testa	Ajuste del aire comburente y de la cabeza de combustión
Regolazione aria	Toma de aire de combustión con mampara de mariposa. Regulación manual del caudal de aire.
Chiusura aria	Cierre de la clapeta del aire cuando el quemador está parado para evitar dispersiones de calor en la chimenea.

Fig. 3.6 Datos técnicos del nuevo quemador seleccionado para la caldera Lambda 250. Fuente: Ficha técnica

Funcionamiento	Monostadio
Potencia Térmica Mínima (kW)	118.6
Potencia Térmica Máxima (kW)	261
Caudal Mín (Sm ³ /H)	10
Caudal Máx (Sm ³ /H)	22
Manutenzione facilitata	Fácil mantenimiento al poder extraer el grupo pulverizador sin desmontar el quemador de la caldera.
Viscosidad Máx (°E)	1.5
Flangia	Brida de conexión al generador corrediza para adaptar el saliente del cabezal a diferentes tipos de generadores de calor.
Antirumore	Dispositivo fabricado con material fonoabsorbente para reducir el ruido de ventilación.
Coperchio	Tapa de protección en material plástico fonoabsorbente.
Circuito combustibile	Circuito de alimentación de combustible formado por bomba de engranajes con ajuste de la presión y válvulas de cierre.
Controllo fiamma	Control de la presencia de la llama mediante fotorresistencia.
	Conector de 7 bornes para la alimentación eléctrica y termostática del quemador.
Protezione elettrica	Instalación eléctrica con grado de protección:
Tipo Alimentación Eléctrica	AC
N.º Fases	1N
Tensión Alimentación (V)	220
Frecuencia Alimentación (Hz)	60
Potencia Motor Ventilador (kW)	0.25
Peso sin embalaje (kg)	17
Peso con embalaje (kg)	18
Ancho (mm)	780
Profundidad (mm)	370
Altura (mm)	410

3.3. Análisis de las estrategias de eficiencia propuestas

En la **Fig.3.7** se presentan los valores de la eficiencia de la caldera para diferentes escenarios de consumo de combustible. Como resultado a partir de la revisión del artículo "Better Burner Specifications (August,1989) mostraron que En el primer escenario se tuvieron en cuenta las condiciones de régimen nominal; en un segundo escenario se

consideraron los registros de consumo de diesel de la empresa (50% de la carga de la caldera), y en una tercera condición se utilizaron los valores del consumo mínimo de combustible del quemador actual. El cuarto escenario se basó en los ahorros de combustible que se obtienen a partir del remplazo del quemador actual, por un quemador del tipo Baltur BTL-20, además de mejorar la insulación y elevar el factor de carga de la caldera.

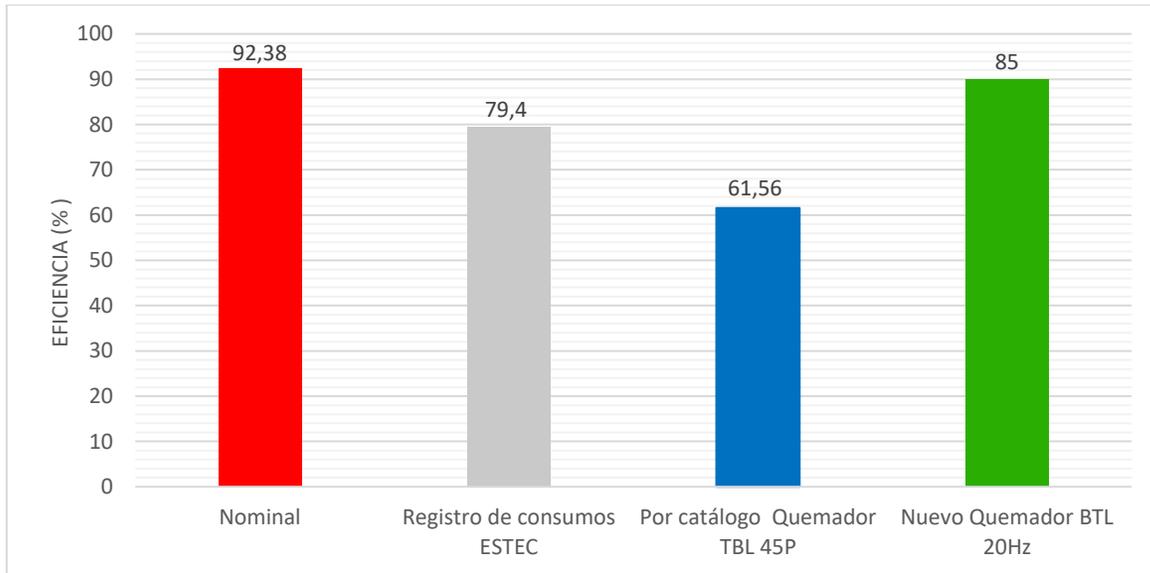


Fig. 3.7 Eficiencia de caldera Lambda 250 para diferentes escenarios de consumos de combustible

En la **Tabla 3.3.** se relacionan las razones de evaporación para las condiciones descritas.

Tabla 3.3. Razón de evaporación para diferentes consumos de combustible

Condiciones	r
Nominal	16.18
Registro de consumos ESTEC	14.08
Por catálogo Quemador TBL 45P	10.92
Nuevo Quemador BTL 20 60Hz	15.77

3.4. Análisis de efecto económico

Para evaluar el impacto económico de estrategias de eficiencia energética en la caldera, se realizó un análisis de efecto económico teniendo en cuenta los ingresos anuales de la empresa que alcanzan valores de 20236.4 MP. El efecto económico que obtiene la empresa

con esta inversión, está en el orden de 36 MP/año, además de los beneficios asociados al mantenimiento.

3.5. Impacto ambiental

Al implementar estrategias de eficiencia se puede reducir de manera significativa el impacto ambiental de la caldera, contribuyendo a la sostenibilidad y al cumplimiento de las regulaciones ambientales. Con las acciones de eficiencia se logra reducción de emisiones de 6975 kgCO₂/año

Conclusiones del capítulo 3

1. Como resultado de la aplicación del diagnóstico se identificaron los principales potenciales de ahorro en la caldera, los cuales están relacionados fundamentalmente, con la incompatibilidad del sistema quemador- caldera y el bajo factor de utilización (50 % de la carga).
2. La aplicación de un diagrama de Pareto para el análisis de las temperaturas en las superficies de caldera permitió establecer las prioridades en cuanto al aislamiento térmico de las superficies de calderas.
3. Con la aplicación de la herramienta Ishikawa se identificaron 12 causas, que conllevan al sobreconsumo de combustible en caldera.
4. Como resultado de las estrategias de eficiencia propuestas, se seleccionó un quemador, cuyo margen de regulabilidad se corresponde con los requerimientos de la caldera. El efecto económico que obtiene la empresa con esta inversión, está en el orden de 36 MP/año, además de los beneficios asociados al mantenimiento. Estos resultados contribuyen a una disminución de los costos operativos, así como a la reducción de energía importada.
5. Las estrategias propuestas tienen un potencial para la reducción de emisiones de 6975 kgCO₂/año.

CONCLUSIONES GENERALES

1. Las estrategias de eficiencia en el sistema de generación de vapor de la ESTEC permiten obtener ahorros de combustible estimados de 2500 l/año, como resultado de un incremento del rendimiento en caldera de aprox. 25 %. El valor de la eficiencia por el método directo (60 %) fue inferior a los resultados obtenidos por otros autores (Borges, 2016),(Brandon, 2021), fundamentalmente, por los problemas de incompatibilidad del sistema quemador – caldera, identificados en el estudio y el bajo factor de carga.
2. A partir de la aplicación de un diagnóstico energético donde se combinaron estudios termográficos, procesamiento de datos, cálculos analíticos y herramientas de análisis, como el diagrama de Pareto y el Ishikawa, se determinaron las causas principales de los sobreconsumos de combustible en el sistema de generación de vapor, y se establecieron prioridades en las estrategias de eficiencia para la toma de decisiones.
3. El efecto económico que obtiene la empresa con la inversión de un nuevo quemador, está en el orden de 36 MP/año, además de los beneficios asociados al mantenimiento. Estos resultados contribuyen a una disminución de los costos operativos, así como a la reducción de energía importada.
4. Con la implementación de las estrategias propuestas, la ESTEC establece un potencial para la reducción de emisiones de 6975 kgCO₂/año, además de reforzar su compromiso con la sostenibilidad ambiental.

RECOMENDACIONES

- Incorporar las estrategias propuestas en el programa de inversiones y mantenimiento de la empresa.
- Actualizar el programa de ahorro de la empresa, a partir de la incorporación de medidas relacionadas con el proceso de generación de vapor.
- Continuar el estudio del comportamiento de los indicadores de desempeño energético, a partir de las estrategias propuestas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AJiménez-Borges, Iturralde-Carrera, Monteagudo-Yanes, & Castillo-Alvarez. (2021). Pérdidas por radiación en generadores de vapor con el apoyo de la técnica termográfica. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(3).
<https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2096/2080>
- Alonso, L. M. (1996). *Calderas de Vapor en la Industria*. Cadem- Eve.
- Amell-Arrieta, & Vélez-Rueda. (2003). Análisis comparativo de eficiencias de combustión en un generador de vapor cuando se utiliza gas natural y diesel de caldera. *Revista Facultad de Ingeniería*, 28.
<https://revistas.udea.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/326425/20783706>
- Borroto, A., & Rubio, A. (2007). *Combustión y generación de vapor*. Universo Sur.
https://www.researchgate.net/profile/Angel-Rubio-Gonzalez/publication/333903191_Combustion_y_Generacion_de_Vapor/links/5d0b987a92851cfcc626fe09/Combustion-y-Generacion-de-Vapor.pdf
- Borroto-Nordelo, Lapidó-Rodríguez, Monteagudo-Yanes, Armas-Teyra, Montesinos-Pérez, Delgado-Castillo, Padrón, A., Viego-Felipe, & Gonzalez-Perez. (2005). La gestión energética: Una alternativa eficaz para mejorar la competitividad empresarial. *Energética*, 33. <https://www.redalyc.org/pdf/1470/147019387005.pdf>
- Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE). (2010). *Curso – Taller Promotores de Ahorro y Eficiencia de Energía Eléctrica*.
[https://www.cnee.gob.gt/eficienciaenergetica/FIDE/007%20M%C3%B3dulo%20VII%20\(AEE%20Bombeo\).pdf](https://www.cnee.gob.gt/eficienciaenergetica/FIDE/007%20M%C3%B3dulo%20VII%20(AEE%20Bombeo).pdf)
- Colectivo de Autores. (2002). *Gestión Energética Empresarial*. U.C.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4834188.pdf>
- Comité Argentino del Consejo Mundial de Energía. (2020). *Guía de Eficiencia Energética en Sistemas de vapor*.
https://www.eficienciaenergetica.net.ar/img_publicaciones/05221623_GuiaSistemasdevaporFINAL.pdf
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE). (2009). *Eficiencia en calderas y combustión*.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/93854/Calderas_02.pdf

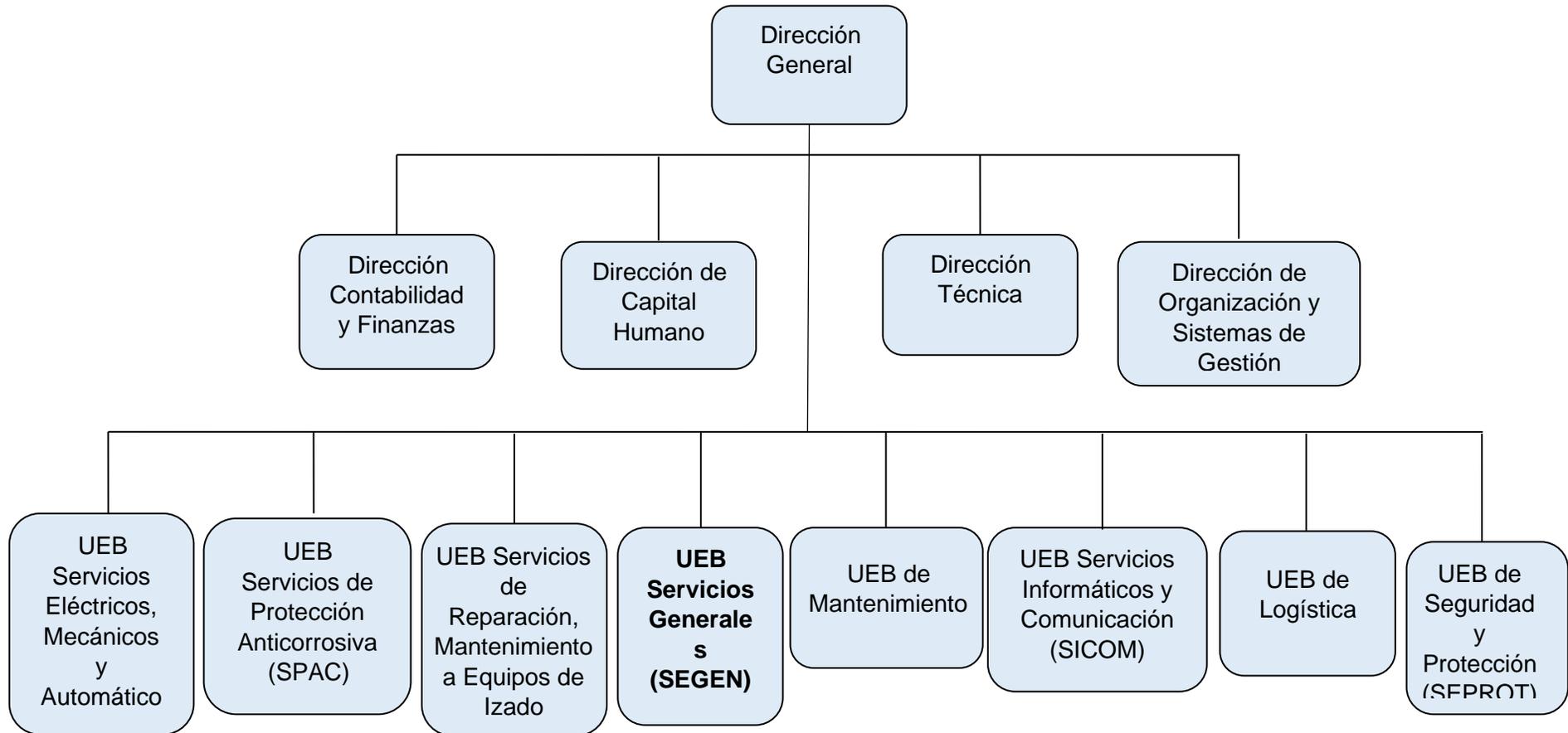
- Correa, J., Cabello, J. J., Nogueira, D., Haeseldonckx, D., Sagastume, A., & Silva, L. F. (2018). Municipal Energy Management Model for Cuban First Level Municipalities. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 11(6).
- Diesendorf, M. (2007). *Soluciones de invernadero con energía sostenible*. UNSW Press.
- Fevzi, A., & Kocaba, C. (2022). Reducing surface heat loss in steam boilers. *Open Chemistry*, 20. <https://doi.org/10.1515/chem-2022-0241>
- Fitton, J. B., & Steelz, S. C. (2005). *Its Generation and use*. The Babcock & Wilcox Company.
- Hernán-Restrepo, Carlos-Burbano, & Salgado, A. A. (2005). Caracterización y posibilidades de ahorro energético en generación de vapor—Estudio de caso. *Scientia Et Technica*, XI(28). <https://www.redalyc.org/pdf/849/84911707015.pdf>
- Hidalgo, C. A. (2016). *Eficiencia térmica en las calderas de vapor de la ciudad de Loja y su correlación con la contaminación ambiental* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/10807/1/Hidalgo%20Masache%20C%20Carlos%20Alberto.pdf>
- Kaewboonsong, W., Kuprianov, V. I., & Chovichien, N. (2006). Minimizing fuel and environmental costs for a variable-load power plant (co-)firing fuel oil and natural gas: Part 1. Modeling of gaseous emissions from boiler units. *Fuel Processing Technology*, 87(12), 1085-1094. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2006.08.003>
- Kitto, J. B., & Stultz, S. C. (2005). *Steam: Its Generation and Use* (41st Edition). Babcock & Wilcox Company, Barberton. [https://www.scirp.org/\(S\(i43dyn45teexjx455qlt3d2q\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1294457](https://www.scirp.org/(S(i43dyn45teexjx455qlt3d2q))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1294457)
- Kljaji, M., & Gvozdenac, D. (2012). Assessment of boiler's operating performance in different energy sectors in the province of Vojvodina. *Thermal Science*, 16. <http://dx.doi.org/10.2298/TSCI120215065K>
- Kocot, M., Lopata, S., & Plutecki, Z. (2017). Heat Losses in Power Boilers Caused by Thermal Bridges. *E3S Web of Conference*, 14. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20171401035>.
- Kurahassi, L. (2006). *Electrical energy management—Bases for a municipal public policy*. Polytechnic School of the University of Sao Paulo.

- Laborde, R., Hernández, G., Morales, L., Matínez, A., & Ramón, L. (2021). Diagnóstico Energético en La Universidad de Holguín [Ponencia]. *10mo. Conferencia Científica Internacional*, Universidad de Holguín, Cuba. <https://eventos.uho.edu.cu/index.php/cidpjt/ci10/schedConf/presentations?searchInitial=L&track=>
- Lang, F. (2009). Errors in boiler efficiency standards. En *Proceedings of ASME Power Conference* (pp. 487-501).
- Marrero-Ramírez, González-Palau, & Núñez-Jiménez. (2006). La gestión energética. Una herramienta indispensable en la gestión empresarial. *Folleto Gerenciales*, 10(6). <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA174970481&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=17265851&p=AONE&sw=w&userGroupName=anon%7Eb9cb86ba&aty=open-web-entry>
- Mojica-Cabeza, García-Sánchez, Silva-Rodríguez, & García-Sánchez. (2021). A review of the different boiler efficiency calculation and modeling methodologies. *Informador Técnico*, 86(1), 69-93. <https://doi.org/10.23850/22565035.3697>
- Morillo, M. (2001). Rentabilidad Financiera y Reducción de Costos. *Actualidad Contable Faces*, 4(4). <https://www.redalyc.org/pdf/257/25700404.pdf>
- Oelker, A. (2023). *Hurst Boiler Sales and Support in Chile*. Hurst Boiler. <https://www.hurstboiler.com/sales/south-america/chile>
- Pacheco, M. F. (2017). *Análisis y mejoramiento de la eficiencia energética en la sección de servicios industriales y de producción en la planta de Freskaleche S.A.S. (Bucaramanga)* [Tesis de grado] Universidad de Pamplona. http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/1786/1/Pacheco_2016_TG.pdf
- Rodríguez, A. D., Rosabal, L. B., & Martínez, P. B. (2020). *Teoría y Práctica de los Procesos de Combustión. Combustibles Sólidos*. Citmatel. <https://libreriavirtualcuba.com/index.php/teoria-y-practica-de-los-procesos-de-combustion-combustibles-solidos>
- Rusinowski, H., & Stanek, W. (2007). Neural modelling of steam boilers. *Energy Conversion and Management*, 48(11). <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2007.06.040>
- Savargave, S., & Lengare, M. (2018). Modeling and Optimizing Boiler Design using Neural Network and Firefly Algorithm. *Journal of Intelligent Systems*, 27(3). <https://doi.org/10.1515/jisys-2016-0113>

Referencias bibliográficas

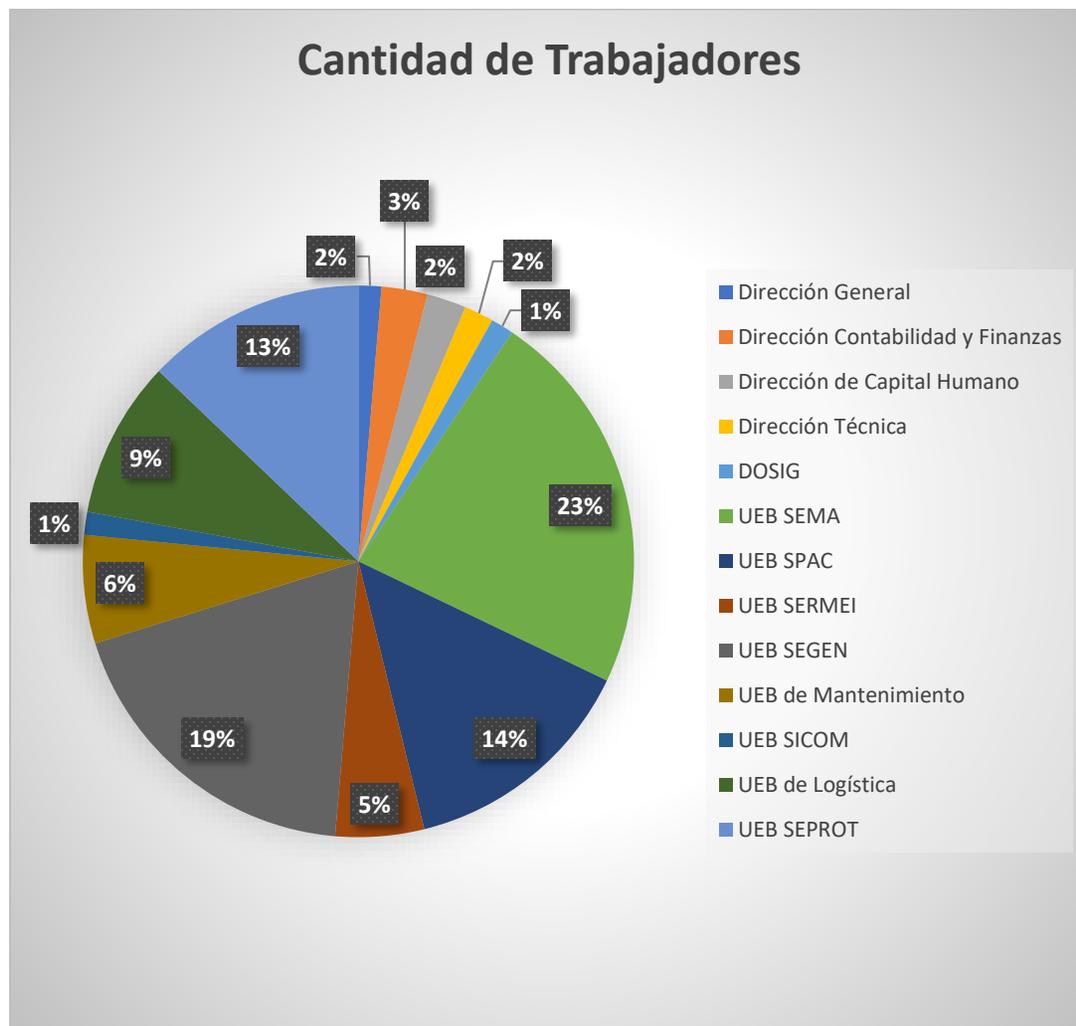
- Shields, C. D. (1961). *Boilers: Types, Characteristics, and Functions*. McGraw-Hill.
<https://www.amazon.com/Boilers-Characteristics-Functions-Carl-Shields/dp/0070568014>
- Tanquero, N. (2002). *Cursos generadores de Vapor*. Puerto Ordaz.
- Tarasevich, M., Tepljakov, A., Petlenkov, E., & Vansovits, V. (2020). Modeling and Identification of an Industrial Hot Water Boiler. *IEEE*, 285-290.
<https://doi.org/10.1109/TSP49548.2020.9163503>
- MANUAL EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA MYPES, (UCATEE). (2012). *Manual Eficiencia Energetica para Mypes*. <https://docplayer.es/1792997-Manual-eficiencia-energetica-para-mypes.html>
- Uceda, J. (2013). Calderas. En *Guía Básica de Calderas Industriales Eficientes*. La Suma de Todos. <https://www.ingenieros.es/files/proyectos/Guia-basica-calderas-industriales-eficientes-fenercom-2013.pdf>
- Vakkilainen, E. K. (2016). *Steam Generation from Biomass*. Oxford: Woodhead Publishing.
- Valencia-Ochoa, Piero-Rojas, & Campos-Avella. (2019). Energy optimization of industrial steam boiler using energy performance indicator. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 9(6), 109-117. <https://doi.org/10.32479/ijeep.8188>
- Varotaria, J., & Barelwala, C. (2014). TPM Implementation in PNG Distribution Industry. *International Journal of Mechanical and Industrial Technology*, 2(1).
- Vidal, D. A., & Lapido, M. J. (2010). *Determinación del factor de carga en las calderas pirotubulares en la ciudad de Cienfuegos*. Energía y tú.
- Zhengzhou Boiler. (1999). *Industrial Boilers Longman Scientific Technical 1999*. <http://www.zbghotwaterboiler.com/industrial-boilers-longman-scientific-technical-1999.html>
- Zhou, J., Deng, S., Turner, D., Claridge, D., & Haberl, J. (2002). *Improving boiler efficiency modeling based on ambient air temperature*.

ANEXOS



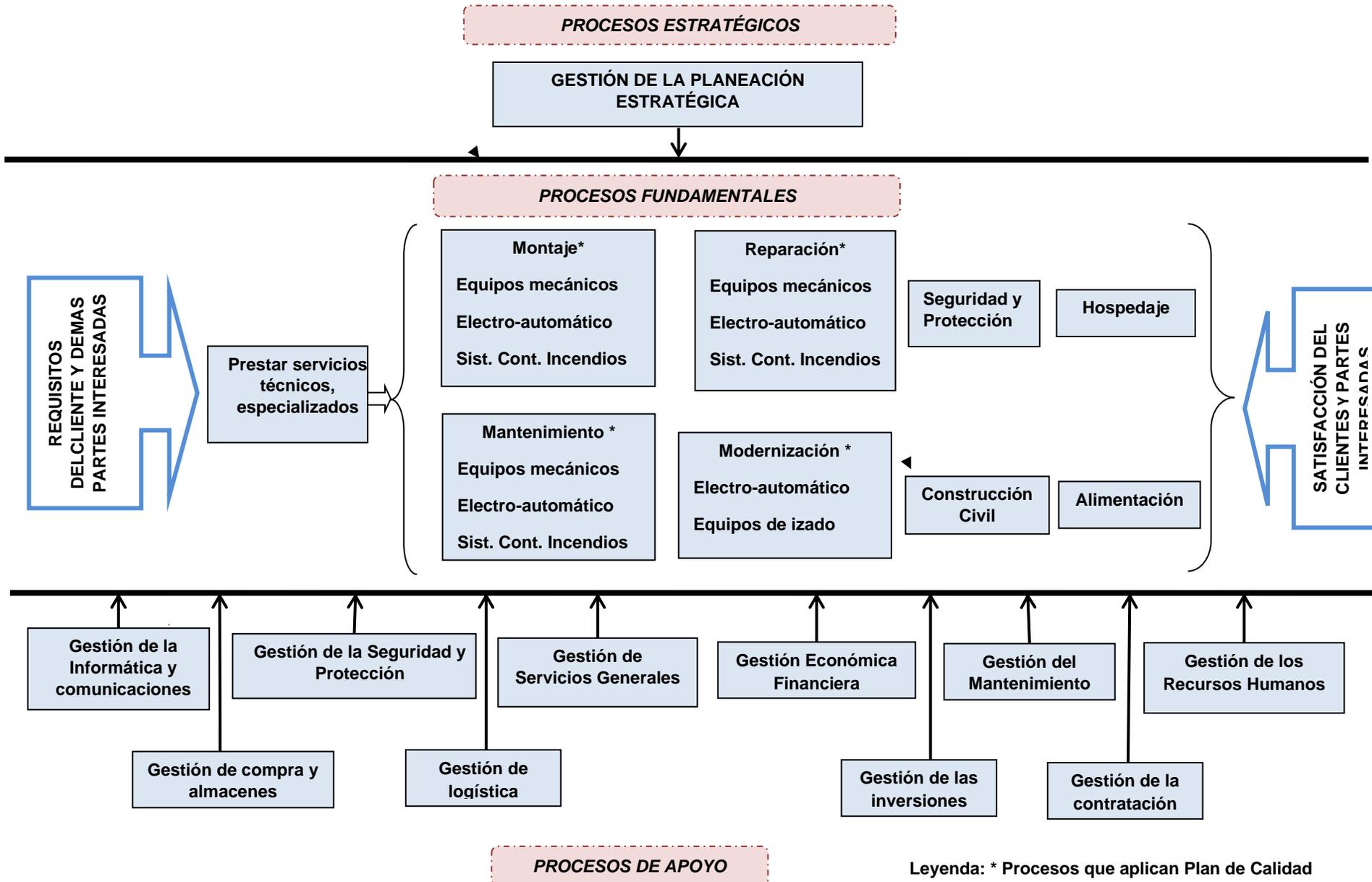
Anexo 2.1: Organigrama de la Empresa de Servicios Técnicos y Especializados Cienfuegos. (ESTEC)

Fuente: Manual de Calidad de la ESTEC



Anexo 2.1 a) Plantilla actual de la ESTEC con las categorías profesionales.

Fuente: Elaboración propia



Anexo 2.2: Esquema de Procesos. Fuente: Manual de Calidad de la ESTEC

Programa de ahorros Año: 2023

N o	Acciones a realizar	Lugar	Tipo de portador energético		Cumplimiento
			Portador	UM	
1	Reposición y adquisición de vehículos de transporte automotor.	UEB Logística	Gasolina y/o Diesel	litros	Permanente
2	Cumplir el plan de MTTO de los equipos climatizados para lograr temperaturas en el interior de los locales climatizados a no menos de 24 C.	Empresa	Energía Eléctrica	MW	Según plan de MTTO
3	Cumplir con el plan de mantenimiento	Empresa	Energía Eléctrica	MW	Según plan de MTTO

Anexos

	mecánico y eléctrico. Del equipamiento instalado en la ESTEC				
4	Mantener iluminación mínima imprescindible en los locales de trabajo de la ESTEC	Empresa	Energía Eléctrica	MW	Permanente
5	Utilizar luminarias más eficientes siempre que sea posible	Empresa	Energía Eléctrica	MW	Diciembre/22
6	Mantener control diario del consumo de electricidad	Empresa	Energía Eléctrica	MW	Permanente
7	Desconectar los aires acondicionados en el horario de 11: am a 1:00 pm, para ayudar a bajar la curva de Demanda Máxima del País.	Empresa	Energía Eléctrica	MW	Permanente

Anexos

8	Mantener eficiente aislamiento térmico de las instalaciones de las cámaras fría. Garantizando máxima hermeticidad en sus puertas	Centro Inmobiliaria 2 Centro Fertilizantes	Energía Eléctrica	MW	Según Plan de MTTO
9	Desplazar horario del cocido de los alimentos del horario pico del mediodía y la tarde	Centro Inmobiliario 2	Energía Eléctrica		Permanente
10	Mantener eficiente estado térmico del régimen de explotación de los equipos tales como compresores, evaporadores y condensadores	Empresa	Energía Eléctrica	MW	Según Plan de MTTO
11	Desconectar los aires acondicionados, equipos de refrigeración, etc., en	Empresa	Energía Eléctrica	MW	Permanente

Anexos

	el horario de 5.30 a 6.30 pm, para ayudar a bajar la curva de Demanda Máxima del País.				
1 2	Comenzar re motorización de vehículos	Taller automotriz	Lubricantes Diesel y gasolina	litros	Diciembre/22
1 3	Realizar análisis disminuir altos consumidores de lubricantes y tomar acciones.	Taller automotriz	Lubricantes	litros	Mensual
1 4	Cumplir con el programa de pruebas de índices de consumo al transporte y Maquinas ingenieras.	Empresa	Diesel y Gasolina	litros	Mensual
1 5	Cumplir con el régimen de operación correcto de la caldera de vapor garantizando	Inmobiliaria 2	Diesel	Litros	Permanente

Anexos

	eficiente régimen térmico				
1 6	Mantener aislamiento térmico en todas las tuberías y accesorios de las instalaciones de vapor de la caldera	Inmobiliaria 2 Centro Fertilizantes	Diesel	litros	Permanente
1 7	Mantener el índice de consumo respecto a LBE en la Actividad Cocción de Alimento.	UEB SEGEN	Diesel	litros	Anual
1 8	Mantener el índice de consumo respecto a LBE en la Actividad Maquinas ingenieras	UEB SPAC	Diesel	Litros	Anual
1 9	Mantener el índice de consumo respecto a LBE en la Actividad Aseguramiento y Servicio.	UEB Logística	Gasolina B-90	Litros	Anual
2 0	Cumplir con régimen correcto de alimentación de agua	Centro inmobiliario 2	Diesel	Litros	Permanente

Anexos

	de alimentar a la caldera				
2 1	Mantener el índice de consumo respecto a LBE en la Act. TAPA.	Área UEB Logística	Gasolina Y diesel	Litros Metros cúbicos	Anual
2 2	Cumplir con el plan de Mantenimiento hidráulico de las instalaciones de la empresa.	Empresa	Agua	Metros cúbicos	Según plan de MTTO
2 3	Cumplir con el plan de Mantenimiento Sanitario de las instalaciones de la empresa.	Empresa	Agua	Metros cúbicos	Según plan MTTO
2 4	Mantener en las instalaciones de la Empresa cero salidero de agua	Empresa	Agua	M3	Permanente
2 5	Uso racional del bombeo Hot. 19 y todas las instalaciones que	Empresa	Agua	M3	Permanente

	utilizan este mecanismo.				
26	Llevar diariamente la auto lectura del consumo del agua	Empresa Hotelera 19 Comedor CEN Centro fertilizante	Agua	M3	Diariamente
27	Cumplir con el plan de Mantenimiento de las Hidro lavadoras que se encuentran en las brigadas.	UEB SPAC	Agua	M3	Según plan MTTO
28	Capacitar a trabajadores cuyos procesos depende del de uso agua en la utilización eficiente de este portador.	UEB SPAC	Agua	M3	Permanente

Anexo 2.3. Programa de ahorro de portadores energéticos de la ESTEC
Fuente: Programa de ahorro de los portadores energéticos de la ESTEC

Superficies	Área (m ²)
Superficie del conducto de gases de salida	0,4
Superficie trasera de la caldera	1,76

Superficie frontal de la caldera	1,51
Superficie lateral derecho	3,64
Superficie lateral izquierdo	3,64

Anexo 2.4. Resumen de las mediciones realizadas en la caldera estudiada.

Fuente: Elaboración propia.

DATOS GENERALES DE LA CALDERA

1. Tipo de caldera: Acuotubular ____ Pirotubular X CTE ____

1.2 Marca:

1.3 Modelo:

1.3 Año de fabricación:

1.4 País de procedencia:

1.5 Tipo de combustible que utiliza: Fuel Oil ____ Crudo ____ Diesel ____ Bagazo ____ Gas ____ Nacional ____

1.6 Tipo de hogar: Al vacío ____ Presurizado ____

1.7 Horas de trabajo al año:

1.8 Posee: Sobrecalentador ____ Economizador ____ Calentador Aire ____

1.9 Posee precalentador del agua de alimentar? SI ____ NO ____

1.10 Tipo de atomización Mecánica ____ Mecánica con Vapor ____ Copa Rotatoria ____

- 1.11 Posee precalentamiento del combustible? SI ___ NO ___
- 1.12 Entrega Vapor: Saturado _____ Sobrecalentado _____
- 1.13 Posee tratamiento del agua de alimentar? SI ___ NO ___
- 1.14 Posee sistema de limpieza de superficie? SI ___ NO ___
- 1.15 Se realizan análisis de gases periódicos? SI ___ NO ___
- 1.16 Se realizan análisis químicos del agua de la caldera? SI ___ NO ___
- 1.17 Posee documentación técnica? SI ___ NO ___
- 1.18 Posee banco de prueba de quemadores? SI ___ NO ___

Anexo 2.5. Guía de preguntas utilizada en la entrevista.