



Instituto Superior Minero
Metalúrgico
"Dr. Antonio Núñez Jiménez"

Facultad de Metalurgia y Electromecánica
Departamento de Metalurgia y Química

Impacto de los diferentes aditivos en las calderas de generación de vapor en la Planta Termoeléctrica de la empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”

Trabajo de Diploma en opción al título de
Ingeniero en Metalurgia y Materiales

ELEINA MIREIDIS DÍAZ VILAR

Moa, 2017



Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
"Dr. Antonio Núñez Jiménez"
Facultad de Metalurgia y Electromecánica
Departamento de Metalurgia y Química

Impacto de los diferentes aditivos en las calderas de
generación de vapor en la Planta Termoeléctrica en la
empresa "Comandante Ernesto Che Guevara"

Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero en
Metalurgia y Materiales

Autor: Eleina Mireidis Díaz Vilar

Firma: _____

Tutores: Ms. C. Orleidy Loyola Bresse

Firma: _____

Ing. Ramón Biña Lores

Firma: _____

Ing. Dalianna Palzadilla Rodríguez

Firma: _____

Moa, 2017

Declaración de autoría

Yo: **Eleina Mireidis Díaz Vilar**, autora de este trabajo de diploma, que tiene como título: impacto de los diferentes aditivos en las calderas de generación de vapor en la empresa "Comandante Ernesto Che Guevara" y el tutor, Ms.C **Orleidy Loyola Breffe** declaramos la propiedad intelectual de esta investigación al servicio del Instituto Superior Minero Metalúrgico "Dr. Antonio Núñez Jiménez" para que disponga de su uso cuando se estime conveniente para fines docentes, educativos e investigativos.

Firma del Diplomante

Firma del Tutor

Dedicatoria

A mi mamá Loraine Vilar Pérez

A mi papá José. E. Díaz Hernández

A mis hermanos Emilio Villafañá Vilar y José. E. Díaz Salazar.

A mi padrastro Emilio Villafañá Montejó

Agradecimientos

El agradecimiento más que una frase, es el acto humano de eterno reconocimiento a quienes, con sus modestos aportes han permitido ganar un peldaño más en la escala de la vida. Es por eso que:

Yo:

Agradezco a todas aquellas personas que con su apoyo desde el comienzo de mi carrera han hecho posible que hoy me encuentre aquí.

Quiero que sepan:

Que con su ayuda he logrado materializar este sueño sin contratiempos y con la calidad requerida.

A mí:

Me gustaría mencionar el esfuerzo y la dedicación realizados por cada una de las personas que depositaron su granito de arena para la realización de esta investigación, tan importante en mi desarrollo como profesional.

Por tanto:

Expreso mis más sinceros agradecimientos a quienes no dudaron ni un momento y me tendieron sus manos, creo que no es preciso mencionar nombres... ellos saben quiénes son. Por su ayuda desinteresada muchas gracias.

Pensamiento

"Cuando vas a hacer algo, siempre habrá personas que te dirán que no puedes lograrlo. Cuando vean que no te pueden detener, te dirán como debes hacerlo, y una vez que lo hallas conseguido, dirán que siempre creyeron en ti..."

John C. Maxwell

RESUMEN

El trabajo se realizó en la planta termoeléctrica de la empresa "Comandante Ernesto Che Guevara" con el objetivo de determinar la influencia de los diferentes aditivos sobre la corrosión en las calderas de generación de vapor y seleccionar el de mejores resultados. Se utilizaron métodos analíticos para el procesamiento de las cenizas para conocer el pH, concentraciones de vanadio, hierro, magnesio, calcio y sodio. Se realizó una comparación entre los tipos de aditivos utilizados en la empresa, de la que se dedujo que los mejores resultados fueron alcanzados con el aditivo PICIZ 4804, porque el mismo muestra que existe un menor consumo de aditivo (872 L), petróleo (7853 L/h) y mayor pH (3,61), se logró un menor tiempo de limpieza (2-3 días) y se mantuvo en valores normales la temperatura (203 °C) y presión (1,41 kPa) para la misma cantidad de días, por lo que se sugiere su uso para la producción.

Palabras claves:

Aditivo, corrosión, calderas.

SUMMARY

This work was carried out in the thermoelectric plant of "Comandante Ernesto Che Guevara" company, aiming to determine the influence of the different additives on the corrosion in the steam generating boilers and to select the one with better results. Analytical methods were used for the processing of the ashes to know the pH, concentrations of vanadium, iron, magnesium, calcium and sodium. It was made a comparison among the different additives used in the company, from which it was deduced that the best results were achieved with the additive PICIZ 4804, because it shows a lower additive consumption (872 L), oil (7853 L/h) and a higher pH (3,61). Besides, a shorter cleaning time (2-3 days) was achieved, and the temperature (203 °C) and pressure (1,41 kPa) were maintained at normal values for the same number of days, suggesting thus its effective use for production.

Key words:

Additive, corrosion, boilers.

Índice	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	5
1.1 Trabajos precedentes sobre las calderas y aditivos	5
1.2 Descripción del proceso tecnológico	11
1.3 Características de los generadores de Vapor	13
1.3.1 Calderas rusas	13
1.3.2 Calderas eslovacas	14
1.3.3 Aditivos utilizados en la CTE	15
1.4 Reacciones de la combustión del fuel-oil	17
2 MATERIALES Y MÉTODOS	19
2.1 Equipamiento y materiales	19
2.1.1 Período de realización de las pruebas con cada aditivo	19
2.2 Características generales de los aditivos	20
2.2.1 Características del aditivo VAPEN FUEL SP Fe	20
2.2.2 Características del aditivo PENTOMAG 4100	20
2.2.3 Características del aditivo PICIZ 4804	21
2.2.4 Características del aditivo QUIMI QZ LC 6520	21
2.3 Características del combustible utilizado para la aditivación	21
2.3.1 Rango en los que deben permanecer los aditivos utilizados para la investigación	22
2.4 Características técnicas de los equipos	23
2.4.1 Equipos y utensilios empleados en la determinación del pH de las cenizas	24
2.4.2 Equipos y utensilios empleados para determinar el calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), hierro (Fe) y vanadio (V) de las cenizas en caldera	25
2.4.3 Equipo utilizado para la toma de temperatura de gases producto	26
2.5 Metodología y métodos de la investigación	26
2.5.1 Procedimiento para la toma de muestra en las calderas	26
2.5.2 Método utilizado para la determinación del pH de las cenizas	27
2.5.3 Metodología para determinación de calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), hierro (Fe) y vanadio (V) de las cenizas en caldera	27
2.5.4 Método utilizado para la toma de temperatura de los gases producto	28

3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	29
3.1 Resultados del aditivo PENTOMAG 4100	29
3.2 Resultados del aditivo PICIZ 4804.....	33
3.3 Resultados del aditivo QUIMI QZ LC 6520	38
3.4 Resultados del aditivo VAPEN FUEL SP Fe.....	42
3.5 Comparación de los resultados de los diferentes aditivos.....	48
3.6 Valoración medio ambiental.....	49
CONCLUSIONES	52
BIBLIOGRAFÍA	53

INTRODUCCIÓN

La industria cubana del níquel cuenta con más de 50 años de experiencia en la obtención del Níquel a partir de los minerales lateríticos. Estos recursos han sido la base para el desarrollo de una prominente industria extractiva, especializada en la recuperación de los valores metálicos presentes en estos minerales, se usan dos tecnologías para su procesamiento, la ácida: basada en la lixiviación a presión utilizando el ácido sulfúrico, y la tecnología carbonato amoniacal: basada en la lixiviación a presión atmosférica.

La empresa "Comandante Ernesto Che Guevara", la cual utiliza la última tecnología expuesta, se encuentra al norte del yacimiento mineral de Punta Gorda, municipio de Moa, provincia Holguín, en la costa norte, entre los ríos Moa y Yagrumaje, a 4 km de la ciudad y a 2 km del pueblo de Punta Gorda. Para la obtención de sus productos semielaborados cuenta con cinco plantas de proceso continuo: minado y preparación de mineral, hornos de reducción, lixiviación y lavado, recuperación de amoníaco y cobalto, calcinación y sinter; además de las plantas auxiliares: tratamiento de aguas y generación de vapor en la Planta Termoeléctrica (se utilizará así en lo adelante, CTE).

La sección de la planta termoeléctrica es la encargada de producir y distribuir los portadores energéticos (energía eléctrica y vapor) necesarios para el proceso tecnológico. Está formada por 7 áreas fundamentales: base de petróleo, estación de rebombeo, estación de suministro interno de petróleo, tratamiento químico de agua, turbinas y generadores, torres de enfriamiento, compresores, distribución eléctrica, calderas (cinco rusas y dos de 150 t eslovacas).

La primera central termoeléctrica fue construida por Sigmund Schuckert en la ciudad de Ettal en Baviera y entró en funcionamiento en 1879. Las primeras centrales comerciales fueron la Central de Pearl Street en Nueva York y la Edison Electric Light Station, en Londres, que entraron en funcionamiento en 1882. Estos primeros centrales utilizaban motores de vapor de pistones. El desarrollo de la turbina de vapor permitió construir centrales más grandes y eficientes por lo que ya para 1905 la turbina de vapor había reemplazado completamente a los motores de vapor de pistones en las grandes centrales eléctricas, estas turbinas de vapor se utilizan en la industria en la actualidad. Las termoeléctricas son instalaciones empleadas para la generación de energía eléctrica a partir de la energía liberada en forma de calor.

La caldera, en la industria es un recipiente metálico, diseñado para producir vapor o calentar agua mediante la acción del calor a una temperatura superior a la del ambiente y presión mayor que la atmosférica. Este vapor se genera a través de una transferencia de calor, en la cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia su fase a vapor saturado. El principio básico de funcionamiento de las calderas consiste en una cámara donde se produce la combustión, con la ayuda del aire comburente y a través de una superficie de intercambio se realiza la transferencia de calor. Para lograr la combustión en las calderas normalmente se utilizan fósiles como petróleo, gas natural o carbón. Este calor es empleado por un ciclo termodinámico convencional para mover un alternador y producir energía eléctrica.

La estructura real de una caldera dependerá de su tipo. No obstante, de forma general podemos describir las siguientes partes: carcasa, quemador, tubos de intercambio de calor, separador líquido-vapor, hogar.

En este caso se centra el estudio en la sección de la planta CTE de la empresa "Comandante Ernesto Che Guevara " que es la encargada de la generación de vapor necesario para el proceso de destilación, generación eléctrica, nudos de combustión y bombeo de combustible.

En esta planta se realizan pruebas en sus calderas para evaluar la factibilidad del empleo de los diferentes aditivos a utilizar para la generación de vapor, los cuales conllevan a un impacto negativo importante en las mismas, debido a la rápida

formación de corrosión que se producen, lo que trae consigo el mantenimiento de las mismas en ciclos cortos de tiempo. En tal sentido se plantea como **situación problemática**: la necesidad de estudiar el impacto que tienen los diferentes aditivos utilizados en las calderas de generación de vapor en la Planta Termoeléctrica de la empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”.

Por lo que se define como problema de investigación: insuficiente conocimiento del comportamiento de los aditivos sobre las calderas de generación de vapor en la Planta Termoeléctrica de la empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”.

Objeto de estudio: aditivos que se adicionan a las calderas de generación de vapor. Se define como **objetivo general**: determinar la influencia de los diferentes aditivos sobre la corrosión de las calderas de generación de vapor en la Planta Termoeléctrica de la empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”.

Para dar cumplimiento al objetivo general se plantean los siguientes **objetivos específicos**:

1. Realizar la fundamentación teórica sobre el tema tratado.
2. Evaluar el comportamiento del pH de las cenizas en las calderas.
3. Evaluar el efecto de los aditivos sobre las calderas de generación de vapor.
4. Comparar el comportamiento general del aditivo que se está utilizando con otros empleados anteriormente en las calderas.

Para lograr el cumplimiento de los objetivos propuestos, se plantean las siguientes **tareas de investigación**:

1. Revisión bibliográfica de trabajos investigativos relacionados con el impacto del aditivo en las calderas de vapor.
2. Procesamiento de la información y evaluación de los resultados.
3. Registro del comportamiento del pH de las cenizas en las calderas.
4. Establecer una comparación del comportamiento de los diferentes aditivos utilizados en las calderas.

Se enuncia como **hipótesis:** si se determina el comportamiento de los diferentes aditivos usados en la combustión, entonces se podrá evaluar su influencia sobre la corrosión de las calderas de vapor en la Planta Termoeléctrica de la empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”.

El campo de acción: efecto del uso de aditivos en las calderas de generación de vapor.

1 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

En el capítulo se realiza un análisis sobre los diferentes aspectos que se encuentran relacionados con los temas discutidos en la bibliografía consultada, acerca de las características del proceso de aditivación en las calderas de generación de vapor, con el objetivo de disponer de los elementos básicos para la realización del trabajo. Se expone además la conceptualización y consideraciones teóricas.

1.1 Trabajos precedentes sobre las calderas y aditivos

Suárez (2009), realiza un trabajo con el objetivo de suplir la demanda máxima de producción de generación de vapor de la empresa "U.B.E. pasteurizadora Cubanacán", localizada en el municipio de Placetas en la provincia de Villa Clara, Cuba; a partir de la puesta en marcha de un generador de vapor de nacionalidad española que le fue adaptado un quemador que venía instalado en un generador de 4 toneladas de capacidad, de nacionalidad italiana. Para el diagnóstico y caracterización del estado del nuevo sistema de generación de vapor se realizó una valoración de dicha área constatándose deficiencias en el estado estructural del antiguo generador, por lo que se justifica plenamente, basado en el cálculo de la eficiencia tanto por el método directo como el indirecto, así como desde el punto de vista económico y ambiental la puesta en marcha de un nuevo generador. Como resultados fundamentales de la aplicación de la metodología utilizada se tiene que la eficiencia de la adaptación, trabaja a plena capacidad se corresponde con lo esperado, es decir, la eficiencia del generador como dato de chapa es de un 85 % y la adaptación es de un 84 % para el flujo máximo de combustible que

suministra el quemador. No se evaluó el comportamiento de los parámetros que influyen en la caldera con esta adaptación.

Duhart (2008), evaluó el proceso de combustión de una caldera de lecho fluidizado circulante, lo cual permitió analizar la situación actual del proceso, cuantificar la cantidad de carbón no quemado que se deposita en las cenizas y parametrizar las variables de operación a partir del rendimiento de la caldera y de la temperatura del lecho. Como resultados se logró determinar las cantidades de gases producidos en función de la temperatura del lecho, la demanda de caliza para la reacción de sulfatación, la cantidad de carbono no quemado depositado en las cenizas y la relación que existe entre las variables de operación más importantes y el rendimiento de la caldera. No se tuvo en cuenta la presión y temperatura en la caldera.

Melissari (2012), concentra un trabajo basado en las características de la ceniza derivada de la combustión de biomasa, con particular atención en las transformaciones química a alta temperatura y su efecto sobre las instalaciones. Hace énfasis en los posibles problemas que ocurren cuando se adecúan las tecnologías de quemado de madera a cultivos energéticos, por ejemplo, de manera de evitar fallas catastróficas. Se concluye con recomendaciones sobre el manejo, control y prevención de problemas asociados a cenizas. No se evaluó la presión, temperatura, consumo de petróleo y aditivos.

Marcelo (1999), compara tres aditivos modificadores de la viscosidad en varias bases lubricantes de la compañía Zayma S.A. Este tipo de aditivo se necesita en algunas aplicaciones cuyas especificaciones exceden las características propias de los aceites minerales, además permite una formulación versátil, tolerante a los cambios en las características de las bases. La evaluación considera el costo de formular un aceite con las mismas propiedades: a 40 y 100 °C. Con estas viscosidades se calcula un parámetro denominado índice de viscosidad, que describe la variación de este con relación a dos aceites de referencia: uno de composición parafínica y otro nafténico, los aditivos que se emplean tienen estructuras moleculares diferentes: poliolefina, polimetacrilato y poli(isobuteno) las cuales se prueban por separado entre los grados ISO 46 y 220 de la International

Organization for Standardization. El resultado de la formulación se obtiene mediante la norma D34, con un error máximo del 2,5 % a 100 °C. Se aconseja que la formulación del aditivo modificador se complemente con dos bases lubricantes de diferente grado ISO, lo que permite regular los perfiles en relación a la temperatura. Finalmente, se recomienda la formulación con el aditivo de poliolefina por ser el más eficiente con relación a su costo, lo que involucra una inversión de 9 % sobre el valor de una base nafténica con un grado SAE 40. No se tuvo en cuenta la densidad.

Díaz (2012), en su trabajo de investigación trata sobre el estudio para el mejoramiento de la eficiencia de la caldera. Aborda generalidades acerca de las calderas de vapor, conceptos básicos utilizados en la producción y conceptos básicos de todos los equipos que afectan la eficiencia de operación en una caldera. Se realizan propuestas para el mejoramiento de la eficiencia de operación de la caldera. Se establece una comparación sobre el resultado de los diferentes parámetros en las calderas con el uso de un aditivo y sin el mismo, lo que comprobó que el uso de este trae consigo que se obtengan mejores resultados de los parámetros evaluados. Solo se evaluó el uso de un solo aditivo.

Cusme (2014), en su afán de restablecer un laboratorio de operaciones unitarias existente, plantea que su componente principal es la caldera. Este equipo se considera el corazón principal del laboratorio, ya que produce la energía necesaria para poner en marcha cada una de las operaciones que se realicen dentro del mismo. Toda industria o laboratorio de operaciones unitarias debe contar con un correcto sistema de generación de vapor, el cual cumpla con los parámetros mínimos requeridos para la puesta en marcha de los equipos que se van a operar dentro del mismo. En caso de que este sistema no tenga un funcionamiento adecuado, la industria no podrá operar de la forma más eficiente, lo cual implicaría pérdidas de tiempo y dinero. Todos los equipos en el laboratorio, así como en una industria deben tener un mantenimiento preventivo para alargar su vida útil y mantener la calidad del producto final de cada operación. El sistema de generación de vapor no es la excepción, al contrario, es la prioridad. El laboratorio no ha contado con los mantenimientos adecuados lo que ocasionó que no esté

operando de la manera adecuada. Este trabajo está enfocado en mejorar el sistema de generación de vapor, para obtener como resultado que se vuelvan a realizar las funciones para las cuales fue diseñado. Se evalúan los parámetros de temperatura, consumo de petróleo y aditivo proponiendo medidas para restablecer sus funciones de diseño. No se evaluó la presión de la caldera.

García (2012), muestra que las calderas de vapor tienen gran aplicación no sólo en la industria sino también en instituciones hospitalarias, el vapor que generan a presión puede producir la fuerza necesaria para aprovecharla en procesos como: calefacción, esterilización, etc. En el trabajo se describen las características específicas de la caldera Cleaver Brooks modelo CB600-600-200 de 600 BHP, a nivel de materiales de construcción, normas para su fabricación, operación y mantenimiento, dimensiones de la misma, capacidad de generación de vapor y energética, presión de trabajo, tipo de combustible y en general las especificaciones técnicas de dicha caldera. Se describen temas de interés como ahorro energético al utilizar material aislante en las tuberías, se indicaron las dimensiones y estructura de la sala de calderas y las condiciones en que esta se encuentra. En la investigación no se evaluó el empleo de los aditivos como mejoras para el proceso de combustión.

En la investigación de García (2013), se realiza el diseño y construcción de un sistema de control automático para una caldera piro tubular horizontal para que genere vapor de agua. El control de la temperatura con termopar tipo J (full Gauge), presión utilizando un presostato y nivel de agua a través de electrodos, para una operación óptima y segura de la caldera a través de contactores, válvula de vapor de agua y presostato de seguridad. La principal condición de operación es mantener el nivel de agua de tal manera que siempre cubra la parte superior de los tubos de fuego y la presión debe estar en los límites permisibles de diseño, las cuales permiten tener condiciones estables que mantienen la operación del quemador que suministra la energía.

Los datos de temperatura, alarmas de nivel de agua y presión están visualizados en el programa LABVIEW. Como resultados se obtuvo el 100% de efectividad, seguridad, resistencia y durabilidad. Los sistemas piro tubulares dependen del

control óptimo de la presión y seguridad para evitar explosiones, siempre estudiando cada situación de riesgo posible para obtener solución. No se realizó la automatización para consumo de combustible y aditivos.

Martínez (2012), realizó un trabajo donde se redujo la concentración de dureza a cero miligramos por litro con el uso de tripolifosfato de sodio, sal tetrasódica del ácido etilendiaminotetraacético y tres mezclas de los agentes ablandadores de agua mencionados anteriormente. Se evaluó y comparó el comportamiento que tienen en el proceso de ablandamiento del agua. La experimentación a nivel industrial se llevó a cabo en tres diferentes empresas. El procedimiento consistió en tomar una muestra de agua con una concentración de ochenta miligramos por litro de dureza, a ésta se le agregó una determinada cantidad de agente ablandador de agua y se midió la dureza. Este procedimiento se repitió hasta ajustarla a cero partes por millón. Con los datos obtenidos se elaboraron gráficas de dureza vs cantidad de agente secuestrante de dureza, a partir de las cuales se determinó un modelo matemático y su correlación; este determina la cantidad de agente de dureza que se debe dosificar para reducir la concentración hasta cero miligramos por litro de cualquier agua de alimentación para las calderas de vapor. Se procedió a calcular los modelos que determinan el costo del ablandamiento utilizando los diferentes agentes y sus mezclas. Al obtener los modelos matemáticos se llevó a cabo la experimentación a nivel industrial en calderas de vapor. Los datos obtenidos poseen confiabilidad de 96%, establecida a partir de las correlaciones de las ecuaciones determinadas. Este trabajo se enfoca en el ablandamiento del agua, pero no se evaluó la influencia de los diferentes parámetros en las calderas.

El trabajo de Nieves (2012), tuvo como objetivo diseñar un sistema de recuperación de calor de los gases de combustión de los turbogeneradores de potencia de un complejo petroquímico. El calor recuperado se uso para generar vapor, con el propósito de ahorrar energía, incrementar la flexibilidad operacional y de mantenimiento, aprovechar el gas liberado para la generación de electricidad y utilizarlo como materia prima. Para realizar esta propuesta se plantea una caracterización de los procesos de generación de potencia y producción de vapor

a partir de los gases de chimenea, lo cual contempla el levantamiento de información sobre estos procesos y las condiciones de diseño; para luego desarrollar la propuesta basada en los resultados previos, aunado al uso de la simulación para diseño, estudio de la factibilidad técnica y posteriormente la factibilidad económica. La unidad de recuperación de calor podrá generar 126 t/h de vapor a 400 °C y 4,48 MPa, con un ahorro de 10 458,32 m³/h de combustible. La inversión para la implementación del sistema de recuperación de vapor podría recuperarse en 1,5 años. Solo se realizó una evaluación económica sin tener en cuenta parámetros como la temperatura de los gases de la chimenea. Rodríguez (2006), en su tesis se dirige al desarrollo de estrategias de control avanzado de las calderas de tubos de fuego que posibiliten elevar la efectividad y fiabilidad en su funcionamiento, así como disminuir su actual consumo de combustible y emisión de gases contaminantes al medio ambiente.

Se considera que el proceso que presenta un mayor significado en el funcionamiento de las calderas de tubos de fuego es el de variación de la presión del vapor en su cuerpo, debido a que el control de la combustión se realiza mediante el control de la presión del vapor. Se desarrolla un sistema de control avanzado de la variación de la presión del vapor en el cuerpo de una caldera de tubos de fuego, que posibilite un funcionamiento efectivo y fiable del proceso de combustión, así como una disminución del actual consumo de combustible y de los gases contaminantes del medio ambiente. Desarrolla un modelo matemático (orientado al control), que describe con un adecuado nivel de exactitud el comportamiento dinámico de dicho proceso. Compara los resultados de la simulación del sistema de control adaptativo predictivo del proceso bajo estudio diseñado con los de un sistema de control clásico. Solo se tiene en cuenta la presión de vapor, cuando se pudo analizar también los diferentes parámetros que actúan en la caldera de tubos de fuego.

El trabajo de Verdezoto (2011), se encuentra dirigido al desarrollo de un controlador predictivo generalizado para una caldera de tubos de fuego que posibilite elevar la efectividad y fiabilidad en su funcionamiento, así como disminuir su actual consumo de combustible y emisión de gases contaminantes al medio

ambiente. Se tiene en cuenta que la variación de la presión del vapor es el proceso que presenta un mayor significado en el funcionamiento de las calderas pirotubulares, ya que el control de la combustión se realiza mediante el control de la presión del vapor. Se desarrolla un sistema de control predictivo generalizado para una caldera pirotubular que disminuya el consumo de combustible y los gases contaminantes emitidos hacia el medio ambiente, y que garantice al menos el control de la presión de vapor en el cuerpo de agua. No se evaluó el comportamiento de los aditivos en las calderas, así como la temperatura en el interior y de los gases de salida.

En ninguno de los trabajos revisados se llegó a estudiar o evaluar el impacto de los diferentes aditivos (PENTOMAG 4100, PICIZ 4804, QUIMI QZ LC 520 y VAPEN FUEL SP FE) en las calderas de vapor en la CTE de la empresa "Comandante Ernesto Che Guevara".

1.2 Descripción del proceso tecnológico

La planta termoeléctrica (CTE) tiene como equipos fundamentales cinco generadores de vapor (planta vieja), con capacidad cada uno de 75 t/h de vapor de 39 atm y 440 °C, 2 generadores de vapor el 6 y 7 en explotación de 150 t/h, un turbogenerador de 25 MW en proceso de montaje y una base de consumo interno para el suministro de petróleo y dos turbogeneradores de potencia de 12 MW cada uno (ver figura 1.1).

A las calderas llega el agua procedente de la planta de tratamiento químico de agua, donde se le realiza un proceso de desmineralización, esta agua es previamente calentada hasta 90 °C al pasar por los calentadores de baja presión, luego pasa al desaerador donde alcanza la temperatura de 104 °C inyectándole vapor para que ocurra la desgasificación, después baja a la bomba a alimentar y es bombeada a los calentadores de alta presión hasta alcanzar una temperatura de 145 °C inyectándole vapor de la turbina, va al colector principal de alimentación. Se incorpora a las calderas, entra en los economizadores de etapas I y II, continuando su recorrido hasta el domo y alimenta los colectores inferiores, para dar lugar a la circulación natural por las pantallas ubicadas en las calderas (horno). En el domo ocurre la separación agua-vapor, este vapor es

sobrecalentado, y mejora su calidad, para después incorporarse al proceso, una vez que haya realizado trabajo en las turbinas. El vapor sobrecalentado que sale de las calderas se distribuye a las turbinas donde llega con presión entre 34 y 36 kgf/cm² y temperatura entre 435 y 440 °C, y a las estaciones reductoras de 40-10 atm y 40-2 atm. El vapor de 10 atm sale de la RED 40-10 con presión que fluctúa entre 9,5 y 10,5 atm y temperatura entre 245 y 280 °C.

El vapor de 2 atm (previsto por proyecto), ahora concebido para trabajar con presión de 0,80 a 0,90 kgf/cm² y temperatura entre 118 y 125 °C en función de las condiciones tecnológicas de proceso se une al vapor de la contrapresión de la turbina. Esta tiene una toma no regulada de presión de 5 atm que se utiliza en el calentador de alta presión para calentar el agua de alimentación.

La misma cuenta con cinco calderas rusas (6,1,3,4,2) y dos eslovacas (7 y 5), de ellas por deficiente estado técnico, se le dio baja a dos (C 1 y C 3), la caldera 4, tiene pendiente su reparación capital, por lo que solo dispone la planta de cuatro calderas para su operación (C-2, C-5, C-6 y C-7). Por diseño se previó su operación con las primeras cinco calderas rusas, pero por el deterioro de su estado técnico y el no mantenimiento a tiempo, además de la nueva inversión de un turbogenerador de 25 MW, se requiere la inversión de dos nuevas calderas, con el inicio de su explotación en el año 2007. Esto teniendo en cuenta que la demanda de vapor ya no solo es para los procesos mencionados, si no para la cogeneración de los dos turbogeneradores de 12 MW, superior al sumarse un nuevo turbo de mayor capacidad (Manual de operaciones, 2017).

Las calderas eslovacas, comienzan su explotación en el año 2007, pero no con el combustible de diseño, sino con crudo nacional, debido a la no disponibilidad de este suministro en el país.

La CTE, realiza pruebas en sus calderas, para evaluar la factibilidad del empleo de otros aditivos, teniendo en cuenta los altos precios de los mismos al ser derivados del petróleo. En este momento la CTE utiliza para la aditivación la firma VAPENSA.

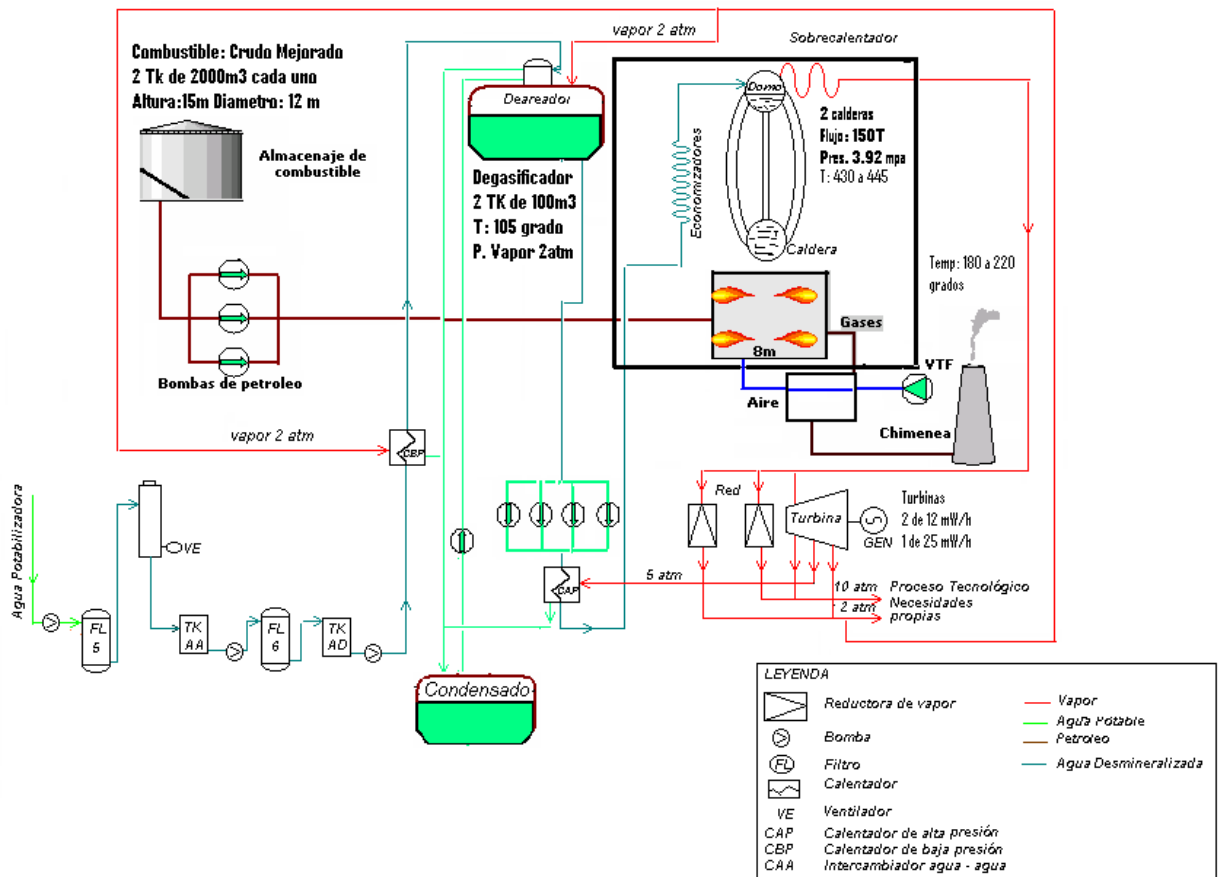


Figura 1.1 Esquema tecnológico de la central de la CTE

1.3 Características de los generadores de Vapor

La generación de vapor para el accionamiento de las turbinas se realiza en instalaciones generadoras comúnmente denominadas calderas. En la caldera propiamente dicha se produce el calentamiento, la evaporación y el recalentamiento y sobrecalentamiento del vapor (Manual de operaciones, 2017).

1.3.1 Calderas rusas

El objetivo de la instalación de la calderas 6 es garantizar el flujo de vapor estable al proceso productivo, con los parámetros adecuados de presión y temperatura.

El agua desmineralizada procedente del tratamiento químico es calentada a través de los calentadores bajo (315-CR-300 A y B), calentador de agua-extracciones continuas (315-CR-301) y calentadores de vapor de sellos (315-CR-401 y 402) y enviado a los desaeradores (315-DE-303 A y B), donde también se alimentan los condensados almacenado en el tanque de condensado (315-TK-307), recolectado

desde los drenajes de los turbogeneradores, los reductores, los colectores de agua y de vapor del piso caliente, los expansionadores y el burbujeador, los cuales son bombeados a través de las bombas (315-BO-308 A y B).

El agua de alimentación procedente de los desaeradores (315-DE-303 A y B) a las calderas es bombeada mediante las bombas de alimentación (315-BO-304 A, B, C, D) y luego de pasar por los calentadores de alta presión (315-CR-305A y B), va al colector principal de alimentación (315-COL-1). Luego se incorpora a las calderas (315-CA-202, 204, 205) entrando en los economizadores, continuando su recorrido hasta el domo y alimentando los colectores inferiores, para dar lugar a la circulación natural por las pantallas ubicadas en el horno.

En el domo ocurre la separación agua-vapor. Este vapor es sobrecalentado mediante dos etapas de sobrecalentamiento, aprovechando los gases producto de la combustión. Entre ambas etapas del sobrecalentador se encontrará el sistema de enfriamiento del vapor que mediante un intercambiador de superficie regula la temperatura del vapor a la salida de la caldera. El vapor sobrecalentado es incorporado al colector de vapor (315-COL-2) del piso caliente de donde es enviado al proceso a través de las estaciones reductoras enfriadoras (315-RED-2 A y B) y (315-RED-10 A y B) y los turbogeneradores (315-TG-401, 402 y 403).

Para la combustión se utiliza el petróleo regular o el crudo mejorado que se recibe de la base de petróleo. Para la combustión se alimenta aire con los ventiladores de tiro forzado (315-VE-202 A, 204 A y 205 A) y se extraen los gases de la combustión por los ventiladores de tiro inducidos (315-VE-202 B, 204 B y 205 B) (Manual de operaciones, 2017).

1.3.2 Calderas eslovacas

La caldera 7 es de horno presurizado, de tres tiros: primer tiro formado por la cámara de combustión, segundo tiro formado por dos pasos de sobrecalentamiento y dos pasos del economizador (en lo adelante, ECO 2) y tercer tiro con tres pasos de economizador (en lo adelante, ECO 1).

La tubería de agua de alimentación que viene desde la sala de máquinas pasa a través de la pared frontal de la caldera por debajo de la insulación de la pared

frontal del evaporador y sigue a través de la pared lateral de la caldera debajo de su insulación hasta el cabezal de alimentación, el cual está situado en el piso +12,8 mm encima de tercer tiro de la caldera.

La alimentación del colector de entrada al ECO 1 está instalada de tal forma que es posible sacarlo de servicio y mantener el funcionamiento de la caldera alimentándola a través del colector de entrada al ECO 2. Esta solución facilitará la reparación de las averías del sistema de presión del ECO 1 durante el servicio de la caldera.

Desde el ECO 1 y 2 el agua caliente entra al domo desde los tubos de suspensión del sobrecalentador a través de la cámara de distribución, las paredes de membrana del primer y segundo tiro se alimentan con agua a través de la pared trasera de irrigación del segundo tiro.

La mezcla de vapor y agua se lleva mediante los tubos de interconexión desde las cámaras superiores de las paredes de membrana a los separadores de vapor. El vapor saturado de la parte superior pasa a través de los tubos de interconexión pasa del colector de entrada al sobrecalentador (en lo adelante, SC 1). Entre el colector de salida del SC 1 y el colector de entrada al sobrecalentador (SC 2) se encuentra el sistema de enfriamiento del vapor que mediante la inyección de agua de alimentación regula la temperatura del vapor a la salida de la caldera (Manual de operaciones, 2017).

1.3.3 Aditivos utilizados en la CTE

Todos los aditivos utilizados en la CTE son fabricados a base de óxido de magnesio. Según PICIZ, Chemical S.A (2009), dichos aditivos que se utilizan para las calderas de generación de vapor son las siguientes:

1. Aditivos a base de óxido de aluminio

El óxido de aluminio se ha utilizado en conjunto con el óxido de magnesio con la finalidad de elevar el punto de fusión de la ceniza, con las siguientes desventajas:

- ❖ Es muy caro.
- ❖ No tiene efecto sobre la emisión de partículas ni la corrosión en bajas temperaturas.

- ❖ Por ser sumamente abrasivo, erosiona las fichas de los quemadores y el sistema de bombeo requiere de mucho mantenimiento.
- ❖ No es fácil de suspender, por lo que habrá asentamientos del producto final.

➤ **Óxido de magnesio en polvo**

Primero se dosificó el óxido de magnesio, obteniéndose relativamente buenos resultados en la parte fría del sistema. Sin embargo, los problemas encontrados fueron los mismos que con los demás aditivos en forma de polvo:

- ❖ Equipo de dosificación sumamente caro.
- ❖ Alto costo de manejo y mantenimiento.
- ❖ Dificultad para mantener una relación óxido de magnesio y combustión constante.
- ❖ No se puede inyectar en la combustión, por lo que no tiene efecto en la parte caliente del sistema.
- ❖ Se requiere agregar en excesos del 200-300 % para combatir los depósitos de vanadio.
- ❖ Tamaño de partícula muy grande - erosión.

➤ **Suspensión acuosa de hidróxido de magnesio**

La forma de actuar del magnesio con la ceniza es como óxido de magnesio. Con este tipo de productos se pretendía calcinar el hidróxido de magnesio en la combustión, para que actuara sobre el vanadio. Sin embargo, las condiciones de flama, temperatura, tiempo de residencia, etc., dentro de la cámara de combustión son tan inestables que se obtenía una partícula de óxido de magnesio completamente calcinada y sin reactividad química, por lo que era necesario agregar excesos altos de hidróxido de magnesio para lograr resultados aceptables. Además se tiene la desventaja de que este tipo de suspensiones no son estables y se sedimentan rápidamente, por lo que se requiere mantenimiento y supervisión continua con su aplicación.

➤ **Dispersión de óxido de magnesio en un combustible ligero**

Comprobándose que el óxido de magnesio es la mejor solución a los problemas relativos a la combustión con combustible, y que el usuario requiere de una forma fácil y sencilla de dosificar el óxido de magnesio en sus sistemas, se desarrolló un

producto a base de óxido de magnesio finamente molido, suspendido en un combustible ligero (generalmente diesel).

Con éste tipo de producto se tiene ya una experiencia acumulada, donde se obtuvo resultados aceptables. Además, el sistema de dosificación es relativamente barato.

La dispersión a base de óxido de magnesio no es una panacea para la solución de todos los problemas de combustión, pero si es la forma más económica y práctica existente de inyectar.

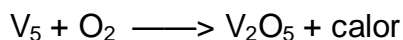
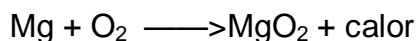
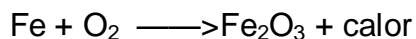
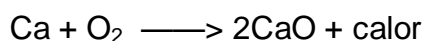
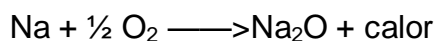
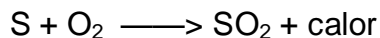
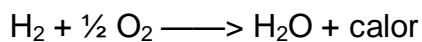
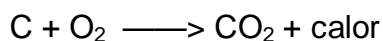
Esta forma de agregar el óxido de magnesio al combustible es hoy en día la más aceptada y con mayor experiencia de aplicación. El 90 % de las inyecciones que se realizan actualmente a nivel mundial es de esta forma.

1.4 Reacciones de la combustión del fuel-oil

La combustión del fuel-oil (o cualquier otro combustible) se define como la oxidación rápida de todos y cada uno de los elementos que lo constituyen originándose un desprendimiento de calor (Bertomeu, S.L, 2016).

Para quemar un combustible es necesario, la presencia de oxígeno, el cual se aporta en forma de aire de combustión, que contiene básicamente un 21 % de oxígeno y un 79 % de nitrógeno.

En esencia, las reacciones principales que ocurren en la combustión, pueden sintetizarse en:



Los más importantes en cuanto a aprovechamiento energético del combustible son las tres primeras reacciones, es decir, la oxidación del carbono, dihidrógeno y azufre, por este orden.

Una vez completadas estas reacciones, o paralelamente a ellas, tienen lugar otras menores relacionadas siempre con las impurezas del combustible (azufre y metales), que en algunos casos están relacionadas con los procesos de corrosión que ocurren en el circuito de gases.

Conclusiones del capítulo 1

1. Se pudo comprobar la no existencia de trabajos e investigaciones que den a conocer el impacto del uso de aditivos en las calderas de generación de vapor en la CTE.
2. Se comprobó que la CTE de la empresa "Comandante Ernesto Che Guevara" posee dos tipos de calderas para la generación de vapor, las que utilizan diferentes aditivos en la combustión del combustible.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Teniendo en cuenta los conocimientos alcanzados podemos decir que el avance de toda investigación requiere de la utilización de un instrumento metodológico para la obtención de resultados confiables. Además la adecuada selección de los métodos y materiales empleados que certifican los resultados logrados, es por eso que en el capítulo se describen los métodos y las técnicas empleadas en el estudio de los aditivos con propósito de su futuro aprovechamiento.

2.1 Equipamiento y materiales

En el acápite se tratara todo lo relacionado con el equipamiento y materiales para la investigación.

2.1.1 Período de realización de las pruebas con cada aditivo

En la tabla 2.1 se muestra la fecha en las que fue puesta en marcha la prueba de cada aditivo, teniendo en cuenta que cada prueba solo duro un período de dos meses.

Tabla 2.1 Período de realización de las pruebas

Tipo de aditivo	Fecha de prueba
VAPEN FUEL SP Fe	6/03/2017- 6/05/2017
PICIZ 4804	17/9/2016- 17/11/2016
QUIMI QZ LC 6520	6/12/2016- 6/02/2017
PENTOMAG 4100	06/06/2016- 06/08/2016

Todos estos aditivos se pusieron en prueba en un año, la prueba se realizó a escala industrial. Cada aditivo se puso en prueba en sucesión de haberse terminado el anterior.

2.2 Características generales de los aditivos

En el acápite se abordara las características principales de los aditivos utilizados en la CTE para las calderas de generación de vapor, que permita evaluar su comportamiento en las mismas.

2.2.1 Características del aditivo VAPEN FUEL SP Fe

El aditivo VAPEN FUEL SP Fe, es una fórmula con un contenido de 30 % de óxido de magnesio micronizado, el cual ha sido disuelto en fase orgánica como un órgano complejo metálico; además contiene óxido de hierro. El mismo controla la corrosión causada por vanadio y azufre. Se caracteriza por ser 100 % soluble en toda clase de combustible. Presenta en su composición química: destilados de petróleo, óxido de magnesio, óxido de hierro y complejos orgánicos. Tiene en sus propiedades físicas, una apariencia líquida viscosa, color rojo (figura 2.1), solubilidad (en hidrocarburos) completa y punto de inflamación mayor 200 °C, con gravedad específica de $1,22 \pm 0,05$ g/mL.

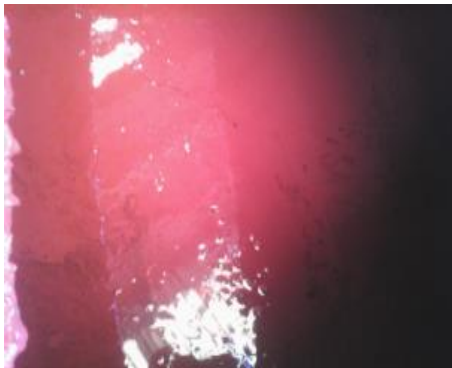


Figura 2.1 Aditivo VAPEN FUEL SP Fe

2.2.2 Características del aditivo PENTOMAG 4100

Es una mezcla de magnesio y hierro combinada con sustancias orgánicas, es un dispersante poderoso. El mismo controla la corrosión causada por vanadio y azufre en las calderas. Se caracteriza por ser 100 % soluble en toda clase de combustible. Presenta en su composición química: destilados de petróleo, óxido de magnesio, óxido de hierro y complejos orgánicos. Tiene entre sus propiedades físicas una apariencia líquida viscosa, con color rojo oscuro, posee una densidad mayor a $0,97$ g/cm³ y viscosidad de 100 cP.

2.2.3 Características del aditivo PICIZ 4804

El producto PICIZ 4804 es una suspensión a base de óxido de magnesio en suspensión de naftas, altamente reactiva, ideal para la prevención de incrustaciones y corrosión en turbogeneradores y calderas que usan combustible residual líquido (combustión o petróleo crudo).

El aditivo PICIZ 4804 es un líquido tixotrópico inherentemente estable y por lo tanto no requiere agitación durante períodos normales de almacenamiento. Tiene en sus propiedades físicas una apariencia líquida viscosa, de color oscuro, con viscosidad de 100 cP y superficie específica de 60 m^2 como mínimo.

2.2.4 Características del aditivo QUIMI QZ LC 6520

Es una suspensión a base de óxido de magnesio disuelto en fase orgánica como un órgano complejo metálico; además contiene óxido de hierro. Se caracteriza por ser 100 % soluble en toda clase de combustible. Tiene en sus propiedades físicas una apariencia líquida viscosa, de color amarillento, con viscosidad de menor a 50 cP, y peso específico 1,00-1,05 kg/L.

2.3 Características del combustible utilizado para la aditivación

Debido a la falta de presupuesto para la compra de crudos pesado, a partir del 2010 se comienza a utilizar crudo nacional para la combustión de las calderas de generación de vapor, a pesar de que el mismo contiene azufre en valores altos. En la tabla 2.2 se muestran las características del crudo nacional

Tabla 2.2 Características del crudo nacional

Índice	Unidad	Especificación contratada	Resultado del laboratorio químico ECG
Viscosidad a 50 °C	cSTOK	650 máx.	399,62
Viscosidad a 80 °C	cSTOK	-	91,10
Densidad API	-	11,0 mín.	12,9
Punto de Inflamación	°C	Ambiente	38,0
Carbón	%	14 máx.	20
Cenizas	%	0,10 máx.	0,04
Agua	%	2,0 máx.	1,0
Azufre	%	7,5 máx.	7,0
Impurezas	%	0,15 máx.	0,05
Asfaltenos	%	18 máx.	12,81
Densidad	g/cm ³	0,9924 máx.	0,9794

2.3.1 Rango en los que deben permanecer los aditivos utilizados para la investigación

Los resultados de los aditivos PENTOMAG 4100, PICIZ 4804, QUIMI QZ LC 520 y VAPEN FUEL SP FE, fueron tomados del CITECT de la empresa. En la tabla 2.3 se muestran los valores en los que deben permanecer los parámetro de la caldera 6 y 7 que se van a utilizar para la comparación, con el objetivo de ayudar en la selección del mejor aditivo, para lo cual se debe tener en cuenta los resultados obtenidos de cada uno por separado.

Tabla 2.3 Valores en los que debe permanecer cada parámetro

Parámetros	Rango
Presión del horno, kPa	1,10-2,0
Temperatura de los gases de salida, °C	200-300
Consumo de petróleo, L/h, calderas rusas (6)	6 000-9 000
Consumo de petróleo, L/h, calderas eslovacas (7)	9 000-13 000
Consumo de aditivo en calderas, L, rusas (6)	500-5 000
Consumo de aditivo en calderas, L, eslovacas (7)	1 000-9442

En la tabla 2.4 se muestran los rangos de valores en los que se deben mantener (caldera 6 y 7) las concentraciones de calcio, magnesio, hierro y sodio en las cenizas y los valores de pH que deben tener los aditivos durante el período de prueba.

Tabla 2.4 Rangos de valores para la concentración de calcio, magnesio, hierro, sodio, vanadio en las cenizas y valores de pH para todos los aditivos

Parámetro(mg/L)	pH	Calcio	Sodio	Magnesio	Hierro	Vanadio
Rango	> 2,1	0,8 – 1	0,2 - 1,8	0,5 – 1	0,2 - 0,4	2 - 4

Para la evaluación de los resultados se tomaron los datos del proceso relacionados con las calderas 6 y 7. Los datos fundamentales corresponden a datos puntuales y promedios diarios tomados durante dos meses.

2.4 Características técnicas de los equipos

En la tabla 2.5 se muestran las características técnicas de los principales equipos utilizados en el análisis químico.

Tabla 2.5 Datos técnicos de los equipos utilizados en el análisis químico

Equipos	Especificaciones
Peachímetro	Marca, Nahita, Modelo No. 903
Balanza analítica	Marca: RADWAG-2010 WLC 10/A 2, Peso máximo: 10 kg
Mufla	Modelo SX2, potencia 5 kW, frecuencia 60 Hz, temperatura máxima 1200 °C
Equipo de Absorción Atómica	Modelo Solar 929, tipo UNYCAM, determina 5 elementos (vanadio, hierro, sodio, magnesio, calcio)

2.4.1 Equipos y utensilios empleados en la determinación del pH de las cenizas

1. Beaker de 200 mL.
2. Erlenmeyer de 250 mL.
3. Embudo de 100 mL.
4. Probeta de 100 mL.
5. Metro pH estándar (figura 2.2).
6. Varilla de agitación de vidrio.
7. Papel de filtro semi- cuantitativo.
8. Agua destilada.
9. Balanza analítica (figura 2.1).
10. Ácido clorhídrico 0,01 g/L.



Figura 2.2 Balanza analítica



Figura 2.3 Peachímetro

2.4.2 Equipos y utensilios empleados para determinar el calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), hierro (Fe) y vanadio (V) de las cenizas en caldera

1. Crisoles de 250 mL.
2. Beaker de 100 mL.
3. Balanza analítica (figura 2.2).
4. Fundidor fluxer (figura 2.5).
5. Mufla (figura 2.4).
6. Equipo de absorción atómica (figura 2.6).
7. Agitador magnético.
8. Envase volumétrico de 250 mL.

Reactivos

1. Yoduro de potasio.
2. Ácido clorhídrico.
3. Mezcla de borato con metaborato de litio.
4. Peróxido.

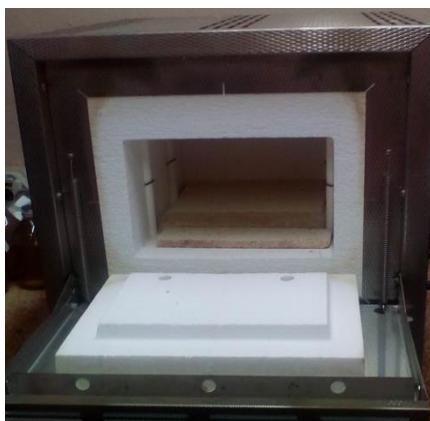


Figura 2.4 Mufla



Figura 2.5 Fluxer



Figura 2.6 Equipo de absorción atómica

2.4.3 Equipo utilizado para la toma de temperatura de gases producto



Figura 2.7 Analizador de gases producto de la combustión.1) Sonda de toma de muestra

2.5 Metodología y métodos de la investigación

Se abordará la metodología y métodos utilizados para la investigación.

2.5.1 Procedimiento para la toma de muestra en las calderas

El operador responsable de la toma de la muestra deberá proceder a la extracción de la lanza, dispositivo que toma muestra de cada caldera, para lo cual deberá realizar la operación siguiente:

Sacar completamente la lanza (figura 2.8 b) que se encuentra en la válvula 2 de la figura 2.8 a, en posición horizontal y manteniendo la abertura hacia arriba en esta misma posición, se debe colocar sobre una superficie que le permita la extracción de la muestra de ceniza. Teniendo el pomo para la recepción de la muestra listo y colocado en el suelo o sobre un plano inferior adecuado que le permita manipular la lanza cómodamente, procederá a verter la ceniza de la lanza en el pomo inclinando lentamente la lanza sobre el pomo facilitando que la ceniza fluya

suavemente por la superficie interior de la lanza hasta verterse en el envase.



(a)

(b)

Figura 2.8 Válvulas de toma de muestra a la salida de las calderas

La muestra tomada se considera representativa con respecto a su volumen total de la ceniza.

2.5.2 Método utilizado para la determinación del pH de las cenizas

Procedimiento de la determinación del pH de las cenizas.

1. Pesar 0,5 g de la muestra de ceniza en la balanza analítica.
2. Agregar 100 mL de agua destilada ajustando previamente el pH = 7 con ácido clorhídrico al 0,01 g/L.
3. Agitar un minuto con varilla de vidrio.
4. Se filtra la solución.
5. Se mide el pH a la solución producto del filtrado con el peachímetro previamente calibrado en la zona del valor a medir.
6. Anotar el valor del pH de la solución.

2.5.3 Metodología para determinación de calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), hierro (Fe) y vanadio (V) de las cenizas en caldera

1. Se toma y se pesa en la balanza analítica un compósito de 1 g de ceniza.
2. Para fundir se lavan los crisoles con ácido clorhídrico al 2 %.
3. Se pone la muestra en un crisol.

4. Se pone en la mufla y se calienta a 800 °C por 10 minutos.
5. Se lleva al desecador y se le añade 105 mL de yoduro de potasio para que funda y 2 g de mezcla de boro con metaborato de litio
6. En el fluxer, antes de encenderlo, se colocan los beakers de 100 mL ya preparado con 40 mL de ácido clorhídrico al 15 % y se le añade 4 o 5 gotas de peróxido.
7. Las muestras se colocan en el fluxer por 10 minutos y se procede a fundir.
8. Luego se pone a lixiviar en un agitador magnético durante 10 minutos.
9. Después de lixiviar, se envasa en un volumétrico de 250 mL , se le añade agua destilada y se agita para que ocurra la disolución.
10. La solución obtenida se lleva para el equipo de absorción atómica (figura 2.6).
11. Se obtienen los resultados

2.5.4 Método utilizado para la toma de temperatura de los gases producto

Procedimiento para tomar la temperatura:

La temperatura de gases se mide con un analizador de gases. La sonda del medidor de gases se introduce en la válvula 1 del toma muestra de los gases. Se esperan 10 minutos y se retira la sonda. Se obtienen los resultados.

Conclusiones del capítulo 2

.1- Se establecieron los métodos y técnicas para la caracterización físico-química de las muestras empleadas en la investigación y fueron establecidos las instalaciones y equipos que garantizan la confiabilidad de los resultados.

2- Las muestras de cenizas y gases de salida de las calderas de la planta auxiliar CTE de la empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” seleccionadas para su caracterización se consideran representativas con respecto a su volumen total

3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1 Resultados del aditivo PENTOMAG 4100

En las tablas 3.1 y 3.2 se muestra el comportamiento de las principales variables evaluadas durante la prueba del aditivo PENTOMAG 4100 con el propósito de comparar el comportamiento del aditivo en la caldera de generación de vapor (6 y 7) y demostrar cual se ve más afectado con el proceso de aditivación.

Tabla 3.1 Resultados de la prueba para la caldera 6

Parámetros	Junio	Julio	Rango
Consumo de petróleo, L/h	8738,4	6629,8	6 000- 9000
Presión interior del horno, kPa	1,25	1,06	1,10-2,0
Temperatura de los gases de salida, °C	222,4	214,4	200-300
Consumo PENTOMAG 4100, L	900	800	500-5000
pH, ceniza	3,20	3,10	> 2,1
Concentración de calcio, g/L	0,823	0,789	0,8 – 1
Concentración de magnesio, g/L	1,252	1,034	0,5 – 1
Concentración de sodio, g/L	0,874	0,798	0,2 - 1,8
Concentración de hierro, g/L	0,175	0,125	0,2 - 0,4
Concentración de vanadio, g/L	2,989	2,894	2 – 4

Se puede observar que la prueba con aditivo PENTOMAG 4100 para la caldera 6, en el consumo de petróleo y aditivo, presión en el interior del horno, temperatura de los gases de salida, pH de cenizas, concentración de calcio, magnesio, sodio, hierro y vanadio se mantienen en valores normales y dentro del rango. Todos los parámetros evaluados presentan un descenso para el mes de julio. El tiempo de limpieza fue de 3 días. El tiempo de limpieza se realiza de forma sistemática en períodos largos de tiempo. Se puede concluir que todos los parámetros para la caldera 6 se mantienen en el rango y sin alteraciones para ninguno de los dos meses de prueba.

Tabla 3.2 Resultados de la prueba para la caldera 7

Parámetros	Junio	Julio	Rango
Consumo de petróleo, L/h	10240,5	10366,8	1 000-9442
Presión interior del horno, kPa	1, 80	1, 95	1,10-2,0
Temperatura de los gases de salida, °C	211,6	213,0	200-300
Consumo PENTOMAG 4100, L	1000	1050	1 000-9442
pH, ceniza	3,08	2,95	> 2,1
Concentración de calcio, g/L	0,823	0,789	0,8 – 1
Concentración de magnesio, g/L	1,252	1,034	0,5 – 1
Concentración de sodio, g/L	0,874	0,798	0,2 - 1,8
Concentración de hierro, g/L	0,175	0,125	0,2 - 0,4
Concentración de vanadio, g/L	2,989	2,894	2 – 4

Se puede observar que la prueba con aditivo PENTOMAG 4100 para la caldera 7, en el consumo de petróleo y aditivo, presión en el interior del horno y temperatura de los gases de salida tienen un ligero aumento para el mes de julio pero se mantienen en el rango, en cambio el pH de cenizas, la concentración de calcio, magnesio, sodio, hierro y vanadio se mantienen dentro del rango, pero con mayor valor para el mes de junio. El período de limpieza fue de 4 días. Se puede concluir que todos los parámetros para la caldera 7 se mantienen en el rango y sin alteraciones para ninguno de los dos meses de prueba.

Comparando los resultados de la caldera 6 y 7, se puede concluir que existen resultados aceptables durante la aditivación con PENTOMAG 4100, el pH de la ceniza se mantienen en un rango ($>2,1$) aunque con valores más bajo ($>2,95$) para la caldera 7, debido a que tiene un mayor consumo de petróleo y aditivo, ya que por diseño tiene mayor capacidad de producción de vapor, pero aún así se mantiene en los valores normales.

Los valores de presión en el interior de las calderas se encuentran dentro del rango permisible, aunque, en el caso de la caldera 7 este valor es más elevado con respecto a la caldera 6. La temperatura de los gases se mantiene en el rango para ambas calderas con mayor valor para la caldera 6.

De acuerdo con la experiencia en la práctica se pudo comprobar que los índices de la concentración de calcio, magnesio, hierro, sodio y vanadio en las cenizas se mantienen en los rangos normales con valores menores para la caldera 6 en el mes de julio y mayores para la caldera 7 en el mes de junio, lo que demuestra que la formación de ácido sulfúrico en las calderas de generación de vapor se mantienen normales en las zonas de altas temperaturas, lo que equivale a decir que los gases de combustión tienen una corrosividad mínima aunque afecta un poco más a la caldera 7 por mantener en valor del pH más bajo pero su valor se mantiene en el rango permisible. El tiempo de limpieza varió de 3-4 días.

Se puede concluir que las calderas de generación de vapor 6 y 7 mantienen todos sus parámetros normales, aunque afectándose mayormente la caldera 7 debido a que es la de mayor consumo por ser la de mayor producción.

En la figura 3.1 se muestran los valores de pH que fueron tomados durante los diez primeros días del uso del aditivo PENTOMAG 4100, con el propósito de mostrar gráficamente cuál de las calderas se ve más afectada con la aditivación.

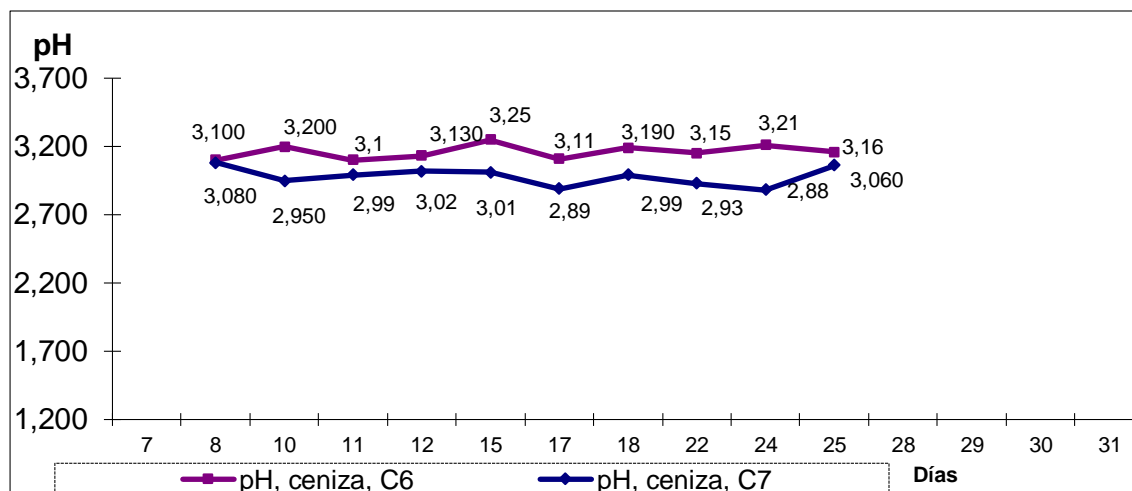


Figura 3.1 Variación del pH en las calderas 6 y 7

Se muestra que los valores de pH son menores para la caldera 7, pero se mantienen en valores por encima de 2,8, lo que demuestra que la formación de ácido sulfúrico se mantiene en cantidades normales y está en el rango permisible. La caldera 7, al mantener su pH más bajo que la caldera 6 propicia que la formación de corrosión sea mayor en las zonas de altas temperaturas, por lo que se puede decir que entre mayor sea el pH la agresividad de los gases por defecto de la acidez disminuyen de forma proporcional, de manera que los pH superiores son ideales para evitar los desgastes en los equipos, mientras que siendo el pH de las cenizas menores a 2,1 contienen cantidades considerables de acidez que los hace ser agresivos a las paredes metálicas, lo que tiende a disminuir la vida útil de las calderas y la eficiencia de las mismas.

En la figura 3.2 se muestran el estado de las calderas después de la prueba con el aditivo PENTOMAG 4100 y de la limpieza.



Figura 3.2 Calderas después de la prueba (a) y limpieza (b) con el aditivo PENTOMAG 4100.

La corrosión en las tuberías es producida mayormente por la quema de petróleo que se agrava al utilizar el combustible con contenido de azufre mayor que 7 %. En la figura 3.2 se muestra que la agresividad de la corrosión es notable a simple vista, ya que se muestra grandes cantidades de incrustaciones en las tuberías y el estado de las calderas después de la limpieza no es bueno.

3.2 Resultados del aditivo PICIZ 4804

En la tabla 3.3 y 3.4 se muestra el comportamiento de las principales variables evaluadas durante la prueba del aditivo PICIZ 4804 con el propósito de poder comparar el comportamiento del aditivo en las calderas de generación de vapor 6 y 7.

Tabla 3.3 Resultados de la prueba para la caldera 6

Parámetros	Septiembre	Octubre	Rango
Consumo de petróleo; L/h	6915,32	6007,75	6 000- 9000
Presión en el interior del horno, kPa	1,28	1,25	1,10-2,0
Temperatura de los gases de salida, °C	209,15	203,05	200-300
Consumo PICIZ 4804,L	800	700	500-5000
pH, ceniza	3,70	3,65	> 2,1
Concentración de calcio, g/L	0,723	0,621	0,8 – 1
Concentración de magnesio, g/L	0,087	0,054	0,5 – 1
Concentración de sodio, g/L	0,713	0,534	0,2 - 1,8
Concentración de hierro, g/L	0,115	0,101	0,2 - 0,4
Concentración de vanadio, g/L	2,018	2,010	2 – 4

Se puede observar que la prueba con aditivo PICIZ 4804 en la caldera 6, en el consumo de petróleo y aditivo, presión interior dentro del horno, temperatura de los gases de salida, pH de cenizas, concentración de calcio, magnesio, sodio, hierro y vanadio se mantienen en valores normales y dentro del rango. Todos los parámetros evaluados presentan un aumento para el mes de septiembre. El tiempo de limpieza fue de dos días. Se puede concluir que todos los parámetros para la caldera 6 se mantienen en el rango y sin alteraciones para ninguno de los dos meses de prueba.

Tabla 3.4 Resultados de la prueba para la caldera 7

Parámetros	Septiembre	Octubre	Rango
Consumo de petróleo, L/h	9240,5	9250,9	1 000-9442
Presión en el interior del horno, kPa	1,41	1,7	1,10-2,0
Temperatura de los gases de salida, °C	200,50	201,55	200-300
Consumo PICIZ 4804,L	990	1000	1 000-9442
pH, ceniza	3,60	3,50	> 2,1
Concentración de calcio, g/L	0,723	0,621	0,8 – 1
Concentración de magnesio, g/L	0,087	0,054	0,5 – 1
Concentración de sodio, g/L	0,713	0,534	0,2 - 1,8
Concentración de hierro, g/L	0,115	0,101	0,2 - 0,4
Concentración de vanadio, g/L	2,018	2,010	2 – 4

Se puede observar que la prueba con aditivo PICIZ 4804 para la caldera 7, en el consumo de petróleo y aditivo, presión en el interior del horno y temperatura de los gases de salida tienen un aumento para el mes de octubre, en cambio el pH de cenizas, la concentración de calcio, magnesio, sodio, hierro y vanadio se mantienen en valores dentro del rango establecido pero con mayor valor para el mes de septiembre. El período de limpieza fue de 3 días. Se puede concluir que todos los parámetros para la caldera 7 se mantienen en el rango sin alteraciones para ninguno de los dos meses de prueba.

Comparando los resultados de la caldera 6 y 7 se puede observar que existen resultados aceptables durante la aditivación con PICIZ 4804, el pH de la ceniza se mantienen en el rango (>2,1) aunque con valores más bajo (>3,5) para la caldera

7, debido a que tiene un mayor consumo de petróleo y aditivo ya que por diseño tiene mayor capacidad de producción de vapor pero aún así se mantiene en los valores normales.

Los valores de presión en el interior de las calderas se encuentran dentro del rango, aunque, en el caso de la caldera 7 este valor es mayor. La temperatura de los gases se mantiene en el rango permisible para ambas calderas con mayor valor para la caldera 6.

De acuerdo con la experiencia en la práctica se pudo comprobar que los índices de la concentración de calcio, magnesio, hierro, sodio y vanadio en las cenizas se mantienen en los rangos normales con mayor valor en el mes de septiembre para la caldera 6 y menor valor para el mes de octubre para la 7, lo que demuestra que la formación de ácido sulfúrico en las calderas de generación de vapor se mantienen normales en las zonas de altas temperaturas, por lo que se puede concluir que los gases de combustión tienen una corrosividad mínima aunque afectando un poco más a la caldera 7 por mantener el valor del pH más bajo, pero mantiene su valor en el rango permisible.

El tiempo de limpieza de esta prueba se mantuvo en menor valor que el de PENTOMAG 4100, por lo que se puede decir que la intensidad de la corrosión producida por este aditivo es menor con respecto al aditivo PENTOMAG 4100.

Se puede concluir que las calderas de generación de vapor 6 y 7 mantienen todos sus parámetros normales, aunque se afecta mayormente la caldera 7 debido a que es la de mayor consumo por ser la de mayor producción.

En la figura 3.3 se muestran los valores de pH que fueron tomados durante los diez primeros días del uso del aditivo PICIZ 4804, con el propósito de mostrar gráficamente cuál de las calderas se ve más afectada con la aditivación.

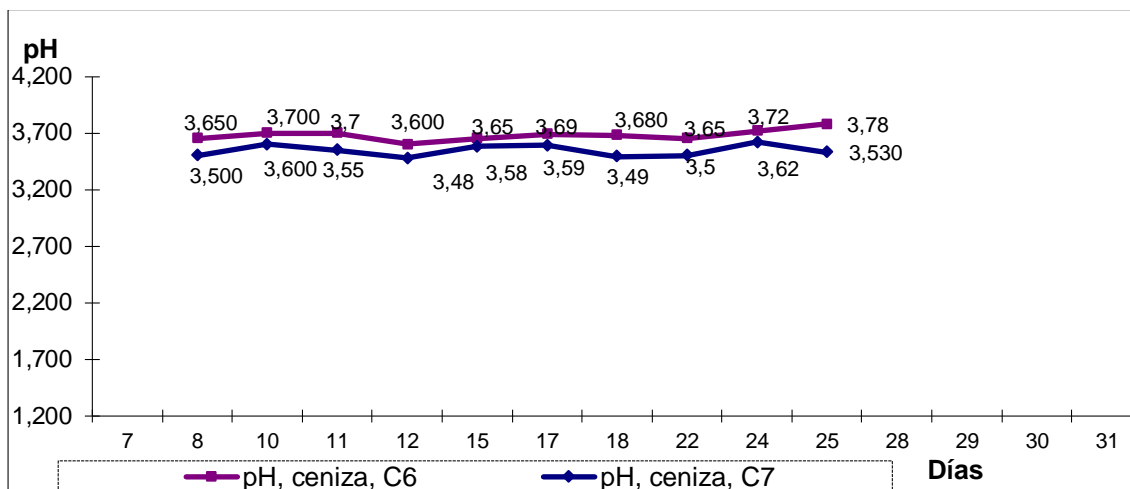


Figura 3.3 Variación de pH en las calderas 6 y 7

Se muestra que los valores de pH son menores para la caldera 7, pero se mantienen en valores por encima de 3,5, lo que demuestra que la formación de ácido sulfúrico se mantiene normal y en el rango. La caldera 7, al mantener su pH más bajo que la caldera 6 propicia que la formación de corrosión sea mayor en la zona de altas temperaturas, por lo que podemos decir que entre mayor sea el pH la agresividad de los gases por defecto de la acidez disminuyen de forma proporcional.

En la figura 3.4 se muestran el estado de las calderas después de la prueba con el aditivo PICIZ 4804y de la limpieza.



Figura 3.4 Calderas después de la prueba (a) y limpieza (b), con el uso del aditivo PICIZ 4804.

En la figura 3.4 se muestra que con el uso del aditivo PICIZ 4804 la agresividad de la corrosión es menor que con el uso del aditivo PENTOMAG 4100 y el estado de las calderas después de la limpieza es bastante buena.

3.3 Resultados del aditivo QUIMI QZ LC 6520

En la tabla 3.5 y 3.6 se muestra el comportamiento de las principales variables evaluadas durante la prueba del aditivo QUIMI QZ LC 6520.

Tabla 3.5 Resultados de la prueba para la caldera 6

Parámetros	Diciembre	Enero	Rango
Consumo de petróleo, L/h	8739,40	8949,40	6 000- 9000
Presión en el interior del horno, kPa	1,23	1,36	1,10-2,0
Temperatura de los gases de salida, °C	207,55	208,35	200-300
Consumo QUIMI QZ LC 6520, L	1495,20	1412,80	500-5000
pH, ceniza, C6	2,00	2,01	> 2,1
Concentración de calcio, g/L	0,770	0,824	0,8 – 1
Concentración de magnesio, g/L	1,554	1,871	0,5 – 1
Concentración de sodio, g/L	1,410	1,591	0,2 - 1,8
Concentración de hierro, g/L	0,306	0,391	0,2 - 0,4
Concentración de vanadio, g/L	4,632	4,815	2 – 4

Se puede observar que la prueba con aditivo QUIMI QZ LC 6520 para la caldera 6, en el consumo de petróleo y aditivo, presión en el interior del horno, temperatura de los gases de salida , concentración de calcio, sodio y hierro se mantienen dentro del rango con un descenso para el mes de diciembre, el pH de cenizas se mantiene bajo para ambos meses de prueba y la concentración de magnesio y vanadio se mantienen alto propiciando la formación de ácido sulfúrico en grandes cantidades dentro de la caldera lo que trae consigo una rápida formación de corrosión en corto tiempo. Todos los parámetro evaluados,

presentan un descenso para el mes de diciembre. El tiempo de limpieza fue de 5 días. Se puede concluir que no todos los parámetros para la caldera 6 se mantienen en el rango para ninguno de los dos meses de prueba.

Tabla 3.8 Resultados de la prueba para la caldera 7

Parámetros	Diciembre	Enero	Rango
Consumo de petróleo, L/h	12520,900	11579,200	1 000-9442
Presión en el interior del horno, kPa,	1,25	1,23	1,10-2,0
Temperatura de los gases de salida, °C,	213,85	201,74	200-300
Consumo QUIMI QZ LC 6520, L	1587,20	1504,80	1 000-9442
pH, ceniza	1,95	2,1	> 2,1
Concentración de calcio, g/L	0,770	0,824	0,8 – 1
Concentración de magnesio, g/L	1,554	1,871	0,5 – 1
Concentración de sodio, g/L	1,410	1,591	0,2 - 1,8
Concentración de hierro, g/L	0,306	0,391	0,2 - 0,4
Concentración de vanadio, g/L	4,632	4,815	2 – 4

Se puede observar que la prueba con aditivo QUIMI QZ LC 6520 para la caldera 7, en el consumo de petróleo, aditivo, presión en el interior del horno y temperatura de los gases de salida se mantienen en valores dentro del rango con un descenso para el mes de diciembre, la concentración de calcio, sodio y hierro se mantiene en valores normales con aumento para el mes de enero, el pH de cenizas se mantiene bajo para ambos meses de prueba y la concentración de magnesio y vanadio se mantienen alto propiciando la formación de ácido sulfúrico en grandes cantidades dentro de la caldera.

El tiempo de limpieza fue de 6 días. Se puede concluir que no todos los parámetros para la caldera 7 se mantienen normales para ninguno de los dos meses de prueba.

Comparando los resultados de la caldera 6 y 7 se muestran resultados bastantes negativos durante la aditivación con QUIMI QZ LC 6520, el pH de la ceniza se mantienen un poco bajos(2,1 <) para ambas calderas y afecta en mayor porción a la caldera 7 por contribuir a la formación de gran cantidad de ácido sulfúrico, lo que trae consigo la rápida formación de corrosión, la presión en el interior del horno se mantiene en el rango para ambas calderas, la caldera 7 tiene un mayor consumo de petróleo y de aditivo, ya que por diseño tiene mayor capacidad de producción de vapor, la temperatura de los gases se mantienen en valores normales para ambas calderas con mayor valor para la 6.

De acuerdo con la experiencia en la práctica, se pudo comprobar que los índices de la concentración de magnesio y vanadio del pH de las cenizas se mantienen más alto que los máximos admisibles, lo que trae consigo la rápida formación de corrosión en las zonas de altas temperaturas.

El tiempo de limpieza con este aditivo fue mayor que con el uso del aditivo PICIZ 4804 y PENTOMAG 4100.

Se puede concluir que las calderas de generación de vapor 6 y 7 no mantienen todos sus parámetros normales, y afecta a la caldera 7 en mayor cantidad debido a que es la de más consumo por ser la de mayor producción.

En la figura 3.5 se muestran los valores de pH que fueron tomados durante los diez primeros días del uso del aditivo QUIMI QZ LC 6520, con el propósito de mostrar gráficamente cuál de las calderas se ve más afectada con la aditivación.

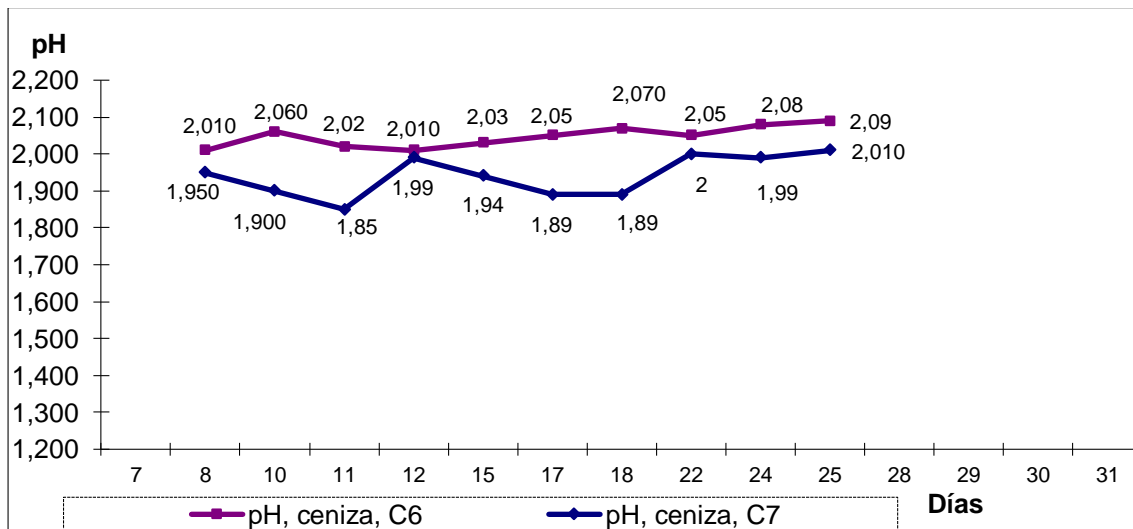


Figura 3.5 Variación de pH en las calderas 6 y 7

Se muestra que los valores de pH son menores para la caldera 7, lo que demuestra que hubo gran cantidad de formación de ácido sulfúrico en período corto de tiempo. La caldera 7, al mantener su pH fuera del rango, propicia la rápida formación de corrosión en la zona de altas temperaturas, de manera que los pH superiores al rango son ideales para evitar los desgastes en los equipos, mientras que siendo el pH de las cenizas menores, contienen cantidades considerables de acidez que los hace ser agresivos a las paredes metálicas lo que tiende a disminuir la vida útil de las calderas y la eficiencia de las mismas

En las figuras 3.6 y 3.7 se representan el estado de las calderas después de la prueba con el aditivo QUIMI QZ LC 6520 y la limpieza.



(a)



(b)

Figura 3.6 Calderas después de la prueba QUIMI QZ LC 6520



Figura 3.7 Caldera después de la limpieza

En la figura 3.6 se muestra el estado de agresividad de la corrosión es grande y mucho mayor que con el uso de los aditivo PICIZ 4804 y PENTOMAG 4100 y el estado de las calderas después de la limpieza es mala.

3.4 Resultados del aditivo VAPEN FUEL SP Fe

En la tabla 3.7 y 3.8 se muestra el comportamiento de las principales variables evaluadas durante la prueba del aditivo VAPEN FUEL SP Fe.

Tabla 3.7 Resultados de la prueba para la caldera 6

Parámetros	Marzo	Abril	Rango
Consumo de petróleo, L/h	8760,60	8750,90	6 000- 9000
Presión en el interior del horno, kPa	1,25	1,21	1,10-2,0
Temperatura de los gases de salida, °C	280,60	270,50	200-300
Consumo VAPEN FUEL SP Fe, L	1349	1324,8	500-5000
pH, ceniza	2,3	2,5	> 2,1
Concentración de calcio, g/L	0,788	0,801	0,8 – 1
Concentración de magnesio, g/L	0,501	0,976	0,5 – 1
Concentración de hierro, g/L	0,150	0,270	0,2 - 1,8
Concentración de sodio, g/L	0,371	0,376	0,2 - 0,4
Concentración de vanadio, g/L	2,980	3,471	2 – 4

Se puede observar que la prueba con aditivo VAPEN FUEL SP Fe en la caldera 6, en el consumo de petróleo y aditivo, presión interior del horno y temperatura de los gases de salida tienen un aumento para el mes de marzo, en cambio el pH de cenizas, la concentración de calcio, magnesio, sodio, hierro y vanadio se mantienen en el rango pero con mayor valor para el mes de abril. El período de limpieza fue de 4 días. Se puede concluir que todos los parámetros para la caldera 7 se mantienen en el rango y sin alteraciones para ninguno de los dos meses de prueba.

Tabla 3.8 Resultados de la prueba para la caldera 7.

Parámetros	Marzo	Abril	Rango
Consumo de petróleo, L/h	11356,342	12224,765	1 000-9442
Presión interior del horno, kPa	1,26	1,34	1,10-2,0
Consumo VAPEN FUEL SP Fe, L	1149	1324,8	1 000-9442
Temperatura de los gases de salida, °C	280,06	290,50	200-300
pH, ceniza	2,102	2,227	> 2,1
Concentración de calcio, g/L	0,788	0,801	0,8 – 1
Concentración de magnesio, g/L	0,501	0,976	0,5 – 1
Concentración de sodio, g/L	0,150	0,270	0,2 - 1,8
Concentración de hierro, g/L	0,371	0,376	0,2 - 0,4
Concentración de vanadio, g/L	2,980	3,471	2 – 4

Se puede observar que la prueba con aditivo VAPEN FUEL SP Fe para la caldera 7, en el consumo de petróleo y aditivo, presión interior dentro del horno, temperatura de los gases de salida, pH de cenizas, concentración de calcio, magnesio, sodio, hierro y vanadio se mantienen en el rango. Todos los parámetros evaluados presentan un descenso para el mes de marzo. El tiempo de limpieza fue de 5 días. Se puede concluir que todos los parámetros para la caldera 7 se mantienen normales y sin alteraciones para ninguno de los dos meses de prueba.

Comparando los resultados de las calderas 6 y 7, se puede observar que existen resultados aceptables durante la aditivación con VAPEN FUEL SP Fe, el pH de la

ceniza se mantienen en un rango ($> 2,1$) aunque con valores más bajo ($> 2,1$) para la caldera 7, debido a que tiene un mayor consumo de petróleo y aditivo ya que por diseño tiene mayor capacidad de producción de vapor, pero aun así se mantiene en los valores normales.

La presión en el interior del horno se mantiene en valores normales para ambas calderas, aunque, con valores más alto para la caldera 7, pero manteniéndose en el rango permisible. La temperatura de los gases se mantiene en el rango permisible para ambas calderas con mayor valor para la caldera 7.

De acuerdo con la experiencia de la práctica se pudo comprobar que los índices de la concentración de calcio, magnesio, hierro, sodio y vanadio en las cenizas se mantienen en los rangos normales, lo que demuestra que la formación de ácido sulfúrico en las calderas de generación de vapor se mantienen normales en las zonas de altas temperaturas, por lo que se puede decir que los gases de combustión tienen una corrosividad mínima aunque afecta un poco más a la caldera 7 por mantener en valor del pH más bajo, pero mantiene su valor en el rango permisible.

El tiempo de limpieza para ambas calderas se mantienen más bajo que el aditivo QUIMI QZ LC 6520 y más alto que el PENTOMAG 4100 y PICIZ 4804.

Se puede concluir que las calderas de generación de vapor 6 y 7 mantienen todos sus parámetros normales, aunque afecto mayormente a la caldera 7 debido a que es la de mayor consumo por ser la de mayor producción.

En la figura 3.8 se muestran los valores de pH que fueron tomados durante los diez primeros días del uso del aditivo VAPEN FUEL SP Fe, con el propósito de mostrar gráficamente cuál de las calderas se ve más afectada con la aditivación

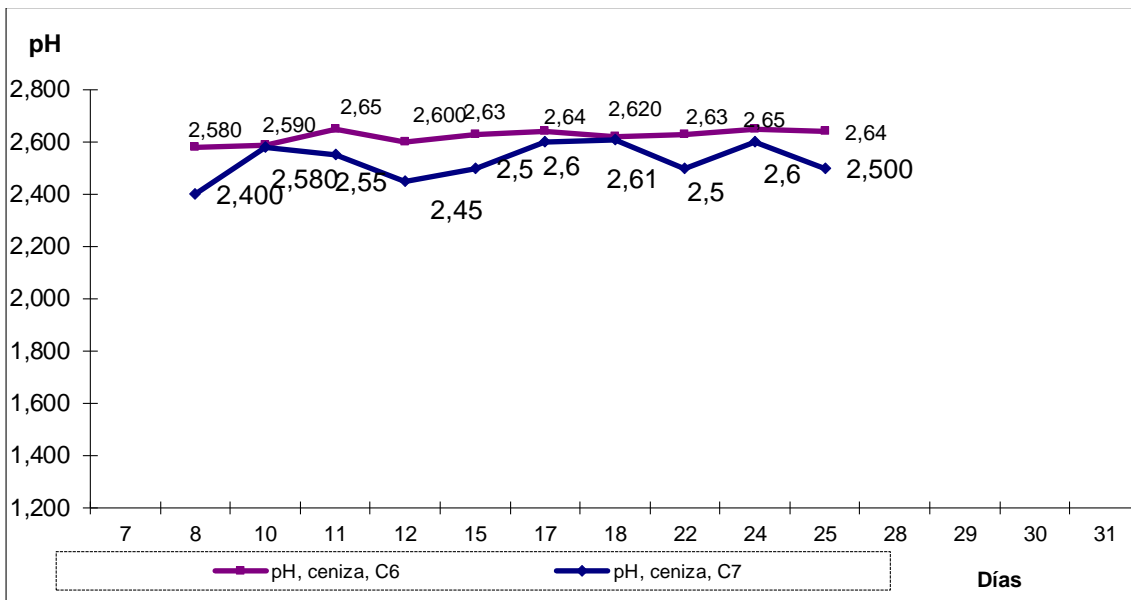
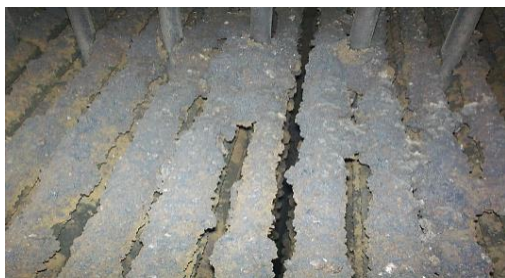


Figura 3.8 Variación de pH de las calderas 6 y 7

Se muestra que los valores de pH son menores para la caldera 7, pero se mantienen en valores por encima de 2,4; lo que demuestra que la formación de ácido sulfúrico se mantiene normal. La caldera 7, al mantener su pH más bajo que la caldera 6 propicia que la formación de corrosión sea mayor en la zona de altas temperaturas, por lo que se puede decir que entre mayor sea el pH la agresividad de los gases por defecto de la acidez disminuyen de forma proporcional.

En la figura 3.9 se muestran el estado de las calderas después de la prueba del aditivo VAPEN FUEL SP Fe y de la limpieza.



(a)



(b)

Figura 3.9 Calderas después de la prueba (a) y limpieza (b) con el aditivo VAPEN FUEL SP Fe

En la figura 3.9 se observa que la formación de corrosión es significativa aunque menor que el uso del aditivo QUIMI QZ LC 6520 y más alto que el

PENTOMAG 4100 y PICIZ 4804, aún en la limpieza no ha sido posible retirar todas las incrustaciones provocado por el uso de este aditivo.

En la figura 3.10 se muestran el estado de las calderas después de la prueba con el aditivo PENTOMAG 4100 y de la limpieza.



Figura 3.10 Calderas después de la prueba (a) y limpieza (b) con el aditivo PENTOMAG 4100.

En la figura 3.11 se muestran el estado de las calderas después de la prueba con el aditivo PICIZ 4804 y de la limpieza.



Figura 3.11 Calderas después de la prueba (a) y limpieza (b), con el uso del aditivo PICIZ 4804

En las figuras 3.12 y 3.13 se representan el estado de las calderas después de la prueba con el aditivo y la limpieza.



(a)



(b)

Figura 3.12 Calderas después de la prueba QUIMI QZ LC 6520



Figura 3.13 Caldera después de la limpieza

3.5 Comparación de los resultados de los diferentes aditivos

Para realizar la comparación se tuvieron en cuenta los parámetros más significativos analizados para los dos meses de prueba de cada uno de los aditivos utilizados en la empresa. Para hacer este análisis se sacaron los promedios de los parámetros para ambas calderas en conjunto. Se tuvo en cuenta además la intensidad con que afecta la corrosión a las calderas de generación de vapor con el uso de cada aditivo, las mismas fueron mostradas a través del análisis de este capítulo.

En la tabla 3.9 se muestran el parámetro más significativo utilizado para la comparación de los diferentes tipos de aditivos. La cual está hecha a partir de los valores promedios obtenidos en los dos tipo de calderas.

Tabla 3.9 Comportamiento de los diferentes aditivos en las calderas de vapor

Parámetros a evaluar	Tipos de aditivos			
	PENTOMAG 4100	VAPEN FUEL SPFE	PICIZ 4804	QUIMI QZ LC 6520
Índice de consumo de aditivo, L	937	1286	872	4809
Consumo de petróleo total, L/h	8993	10273	7853	10444
Análisis del pH de las cenizas	3,082	2,282	3,61	2,015
Presión en el interior del horno, kPa	1,515	1,265	1,41	1,267
Temperatura de los gases de salida, °C	215	280	203	207
Tiempo de limpieza promedio, días	3-4	4-5	2-3	5-6

De acuerdo con la tabla 3.9 se puede concluir que a pesar de que el aditivo que se está utilizando es el VAPEN FUEL SP Fe, el aditivo más eficiente para las calderas es el PICIZ 4804, porque el mismo muestra que existe un menor consumo de aditivo (872 L), petróleo (7853 L/h), mayor pH (3,61), se logró un menor tiempo de limpieza (2-3 días) y se mantuvo en valores normales la temperatura (203 °C) y presión (1,41 kPa) para la misma cantidad de días, por lo que se sugiere su uso para la producción.

3.6 Valoración medio ambiental

La Central Termoeléctrica expulsa a la atmósfera los gases procedentes de la combustión completa del petróleo, utilizada para la producción de vapor por sus calderas. Los contaminantes fundamentales son el CO₂ y SO₂.

Uno de los elementos que más influye en el efecto invernadero, cambio climático, y calentamiento global (provocado por las sociedades humanas tanto

industrializadas como en desarrollo) es el dióxido de carbono en la atmósfera (alrededor del 50%) y su impacto aumenta en la medida que consumen combustibles fósiles las calderas. El nivel de emisiones de CO₂ ha aumentado un 31 %. Se sabe que las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera en la actualidad superan las alcanzadas en los últimos años. La CTE tiene una emisión de 20 µg/m³ a la atmosfera, según la Norma Cubana NC 39/1999 establece que las concentraciones máximas admisibles son de 40 µg/m³ de promedio máximos admisibles por día.

El dióxido de azufre (SO₂) en las calderas, es resultado de la combustión de materiales fósiles (especialmente de petróleo que por su origen contienen azufre). Este gas incoloro y venenoso, por reacciones fotoquímicas en el aire, especialmente en condiciones de alta humedad, se transforma lentamente en trióxido de azufre, el cual se disuelve en las partículas de agua transformándose uno de los ácidos más fuertes (ácido sulfúrico). La CTE tiene una emisión de 20 µg/m³ a la atmosfera, según la Norma Cubana NC 39/1999 establece que las concentraciones máximas admisibles son de 50 µg/m³ de promedio máximos admisibles por día.

Los efectos sobre la salud y el ambiente de los óxidos de azufre son los siguientes:

1- Al penetrar a las vías respiratorias destruye las pilosidades o cilios del epitelio del sistema pulmonar, que tienen la función de evacuar partículas de polvo y aerosol de los bronquios.

2- La influencia sobre la vegetación se manifiesta desde daños a las hojas hasta la muerte de las plantas. En primer lugar las puntas de las hojas se ponen amarillas y, en casos extremos, la hoja se enrolla y muere. Cuando el envenenamiento es fuerte la planta puede morir. En las áreas de cultivo se malogran las cosechas.

Conclusiones del capítulo 3

- 1- Se mostró gráficamente que la caldera que se ve más afectada con la aditivación es la 7 por ser la de mayor consumo de petróleo y aditivo.
- 2- Se demostró que el aditivo más eficiente para las calderas es el aditivo PICIZ 4804.

CONCLUSIONES

- Se estableció el comportamiento de los aditivos en las calderas de generación de vapor, mostrando que aunque el aditivo que se emplea en la empresa en estos momentos es el VAPEN FUEL SP Fe, se muestran mejores resultados con el PICIZ 4804, porque el mismo muestra que existe un menor consumo de aditivo (872 L), petróleo (7853 L/h), mayor pH (3,61); se logró un menor tiempo de limpieza (2-3 días) y se mantuvo en valores normales la temperatura (203 °C) y presión (1,41 kPa) para la misma cantidad de días, por lo que se sugiere su uso para la producción.
- Se mostró que el pH se mantiene en el rango establecido, para los aditivos VAPEN FUEL SP FE, PENTOMAG 4100, PICIZ 4804 y, bajo para QUIMI QZ LC 6520 con valores de 1,5-2.
- Los aditivos en la combustión, traen consigo la rápida formación de corrosión en las zonas de alta temperaturas y afecta a la caldera 7 con mayor intensidad por ser la de mayor producción y consumo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Abarca, P. (2015). Descripción de calderas y generadores de vapor
2. Alvares, C. (2006). Máquinas técnicas
3. Berroteran, K. (2014). Mantenimiento y tratamiento del agua de una caldera industrial en el hotel Marriott Playa Grande. Universidad de Simón Bolívar Venezuela.
4. Bertomeu, S. L. (2015). Incrustaciones en calderas de vapor a fueloil
5. Bertomeu, S. L. (2016). El fueloil pesado y sus efectos corrosivos en la combustión industrial
6. CAE. (2007). Operación eficiente de calderas.
7. Cardozo, S., Sánchez, Y., & Armas, H. (2011). Tratamiento de agua para la generación de vapor con un sistema de suavizado y dosificación de productos químicos Vol. 2. (pp. 50).
8. Clavelo, R. (2003). Simulación del sistema de generación de vapor y procesos de depuración de SO_2 y NO_2
9. Cusme, G. (2014). Mejoramiento del sistema de generación de vapor del laboratorio de operaciones unitarias de la escuela de ingeniería química, de la facultad de ciencias matemáticas, físicas y químicas, de la universidad técnica de manabí". (Tesis en opción a título de Ingeniero Químico), Universidad Técnica de Manabí).
10. Chávez, W., & Paredes, C. (2003). Causas de fallas en calderas. Retrieved 27 de marzo, 2017
11. Díaz, S. (2012). Mejoramiento de la eficiencia de las calderas de vapor con aditivos. (Tesis en opción a título de Ingeniero Químico), Universidad de Guayaquil.

12. Domingue, J., Santiago, J., Uceda, J., & Garrido, P. (2012). Guia basica de calderas industriales eficientes
13. Duhart, J. P. (2008). Combustión del petcoke con adición de caliza en un hogar de lecho fluidizado circulante. (Tesis en opción a título de Ingeniero Civil Industrial), Universidad del BIO- BIO Chile).
14. García, E. (2012). Ahorro energético aplicado al rediseño de calderas y la administración de sus recursos. (Tesis en opción a título de Ingeniero Mecánico Industrial), Universidad de San Carlos de Guatemala).
15. García, J. (2013). Diseño y construcción de un sistema de control automático para una caldera piro tubular horizontal. (Tesis en opción a título de Ingeniero Electrónica), Universidad de Chimborazo).
16. Guanipa, G., Garcia, E., Sanchez, J., & Rodriguez, J. (2008). Practica generadores de vapor
17. Hernández, M. (2016). Técnica de fluidos (pp. 8).
18. Manriquez, P. Calderas o generadores de vapor. Retrieved 27 de marzo, 2017
19. Marcelo, R. (1999). Selección de un aditivo para modificar el índice de viscosidad de bases lubricantes nacionales. Tesis en opción a título de Ingeniería Química, Universidad Rodrigo Facio, Costa Rica.
20. Melissari, B. (2012). Comportamiento de cenizas y su impacto en sistemas de combustión de biomasa
21. Milla, L. (2007). Calderas y turbinas de vapor para la generacion de energia electrica (pp. 9).
22. Nieves, N. (2012). Sistema para la producción de vapor de agua a partir de calor generado por gases de chimenea en generadores de electricidad.(Tesis en opción a título de Ingeniero Mecánico Industrial), (Universidad del Zulia).
23. Norma Cubana NC (1999). Cuba.
24. Pauer, R. (1990). Lo que ocurre en el interior de la caldera
25. PICIZ, Chemical S.A. (2009). Combustión en las calderas de vapor (pp 30).
26. Proname. (2000). Guia de mantenimiento y redes de distribucion de vapor (pp. 36).
27. Ramírez, V. (1980). Máquinas motrices generadores eléctrica
28. Rebago, S. A. (2011). Aditivos y catalizadores rabaga

29. Rodríguez, J. (2006). Desarrollo de un Sistema de Control Avanzado de la Presión del Vapor en una Caldera de Tubos de Fuego.(Tesis en opción a título de Ingeniero Químico), (Universidad Católica de Perú).
30. S.A.S, S. (2008). Aditivos para combustibles líquidos (pp. 2).
31. SMA. (2014). Guía de aspectos ambientales relevantes para centrales termoeléctricas I.
32. Spirax, S. (2000). Generación de vapor (pp. 117).
33. Suárez, E. (2009). Análisis y Evaluación del Nuevo Generador de Vapor con un quemador adaptado en la Pasteurizadora de Placetas.(Título en opción a Ingeniero Mecánico), Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Santa Clara.
34. Tembour, J. (2000). Retención de contaminante
35. Termodinámica, B. (2003). Calderas eficientes en procesos industriales (pp. 43).
36. Thermal, I. (2007a). Costo de generación de vapor
37. Thermal, I. (2007b). Tratamiento de aguas para calderas
38. Thomasset, C. (2000). Pequeño manual para la generación y el uso eficiente del vapor (pp. 170).
39. Van, W. (2002). Fundamentos de termodinámica
40. Verdezoto. L (2011).Control predictivo generalizado de una caldera de tubos de fuego.(Tesis en opción a título de Ingeniero Eléctrico), (Universidad Nacional Autónoma de México).
41. Manual de operaciones de la Planta Termoeléctrica. Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”. (2017)