



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO PROACTIVO DE EQUIPO DE
TRANSFERENCIA TÉRMICA DE ALCOHOL PARA UNA PLANTA PROCESADORA DE
ALIMENTOS**

Edson Jairo Moisés Salazar Marroquín

Asesorado por la MSc. Inga. Sandra Ninett Ramírez Flores

Guatemala, junio de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO PROACTIVO DE EQUIPO DE
TRANSFERENCIA TÉRMICA DE ALCOHOL PARA UNA PLANTA PROCESADORA DE
ALIMENTOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

EDSON JAIRO MOISÉS SALAZAR MARROQUÍN

ASESORADO POR LA MSC. INGA. SANDRA NINETT RAMÍREZ FLORES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, JUNIO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

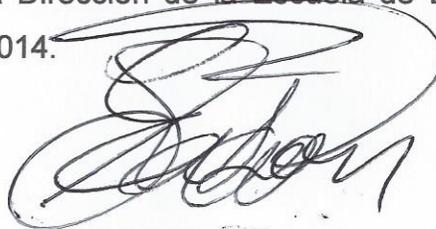
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Hilda Piedad Palma Ramos
EXAMINADORA	Inga. Dinna Lissette Estrada Moreira de Rossay
EXAMINADOR	Ing. Renato Giovanni Ponciano Sandoval
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO PROACTIVO DE EQUIPO DE TRANSFERENCIA TÉRMICA DE ALCOHOL PARA UNA PLANTA PROCESADORA DE ALIMENTOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha noviembre de 2014.



Edson Jairo Moisés Salazar Marroquín

AGS-MIMPP-012-2018

Guatemala, 11 de agosto de 2018.

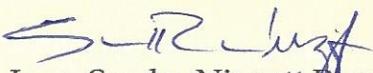
Director
Carlos Salvador Wong Davi
Escuela de Ingeniería Química
Presente.
Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación de la estudiante Edson Jairo Moises Salazar Marroquín con carné número 200413374, quien opto la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría de Ingeniería en Mantenimiento.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

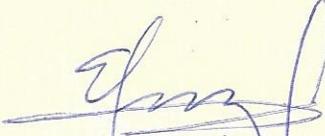
"Id y Enseñad a todos"


MSc. Inga. Sandra Ninnett Ramirez F.
Asesor (a)

Sandra Ninnett Ramirez Flores
INGENIERA QUÍMICA, COL. No. 437
"C.C. INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO"


Dra. Inga. Alba Maritza Guerrero Spínola
Coordinadora de Área
Gestión y Servicios

ALBA MARITZA GUERRERO SPINOLA
INGENIERA INDUSTRIAL
COLEGIADA No. 4611


M.A. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotto
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



Cc: archivo/L.Z.L.A.

RESOLUCIÓN DE JUNTA DIRECTIVA: Proceso de Graduación aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011.



Ref.EIQ.TG.037.2019

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el informe de la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería del estudiante, **EDSON JAIRO MOISÉS SALAZAR MARROQUÍN**, ha optado por la modalidad de estudios de postgrado para el proceso de graduación de pregrado, que para ello el estudiante ha llenado los requisitos establecidos en el normativo respectivo y luego de conocer el dictamen de los miembros del tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el **Informe del Diseño de Investigación del Programa de Maestría en INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO** titulado **"DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO PROACTIVO DE EQUIPO DE TRANSFERENCIA TÉRMICA DE ALCOHOL PARA UNA PLANTA PROCESADORA DE ALIMENTOS"**. Procede a **VALIDAR** el referido informe, ya que reúne la coherencia metodológica requerida por la Escuela.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Salvador Wong Davi
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, mayo de 2019

FACULTAD DE INGENIERIA USAC
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
DIRECTOR

Cc: Archivo
CSWD/ale



Universidad de San Carlos
De Guatemala

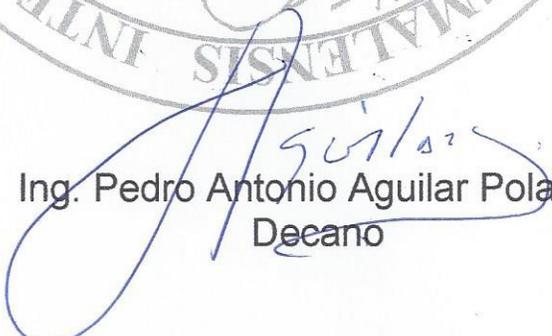


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.280-2019

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química del trabajo de graduación titulado: **"DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO PROACTIVO DE EQUIPO DE TRANSFERENCIA TÉRMICA DE ALCOHOL PARA UNA PLANTA PROCESADORA DE ALIMENTOS"** presentado por el estudiante: **Edson Jairo Moisés Salazar Marroquín**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, Junio de 2019

/echm



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser el ser supremo y siempre demostrarme que está a mi lado y que nunca me ha abandonado.
Mi Virgencita y Don Bosco	Por ser mis mayores intercesores ante Dios de todas mis vivencias.
Mis padres	Porque aun no siendo el mejor hijo, siempre están conmigo apoyándome.
Mis hermanos	Por estar siempre a pesar de todas las cosas.
Mi hijo Jesús	Por ser mi motivación para esforzarme cada día en ser mejor para él.
Mis amigos	Que de una manera u otra estuvieron involucrados apoyándome en la culminación de mi carrera y en mi vida en general.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa de estudios, brindándome la oportunidad de llegar a ser un profesional.

Facultad de Ingeniería

Por proporcionarme los conocimientos necesarios en toda mi formación académica.

**Mis amigos de
la Facultad**

Con quienes viví una gran experiencia, llena de horas de estudio, pero también en donde pudimos compartir muchas aventuras y buenos momentos. Agradeceré siempre su apoyo y amistad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	VII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
3.1. Contexto general.....	7
3.2. Descripción del problema	7
3.3. Formulación del problema	8
3.3.1. Pregunta general	8
3.3.2. Preguntas específicas	8
3.4. Delimitación del problema.....	9
4. JUSTIFICACIÓN	11
5. OBJETIVOS	15
5.1. Objetivo general.....	15
5.2. Objetivos específicos	15
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	17
7. MARCO TEÓRICO	21
7.1. Mantenimiento.....	21

7.1.1.	Mantenimiento proactivo	23
7.1.2.	Tipos de mantenimiento	25
7.1.3.	Técnicas de ensayos no destructivos	26
7.2.	Análisis de aceite	27
7.2.1.	Qué es un análisis de aceite	28
7.2.2.	Características fisicoquímicas para un análisis de aceite	31
7.2.3.	Partículas de desgaste por ferrografía o espectrométrico	32
7.2.4.	Análisis por dilución por agua.....	34
7.2.5.	Análisis por dilución por combustible	35
7.2.6.	Viscosidad	36
7.2.7.	Total de sólidos.....	38
7.2.8.	Número Base Total (TBN)	39
7.2.9.	Número Total de Acidez (TAN)	40
7.3.	Sistema de transferencia de calor utilizando aceite térmico	41
7.3.1.	Especificaciones generales del sistema.....	42
7.3.2.	Instalación.....	45
7.3.3.	Mantenimientos aplicados	45
7.3.4.	Fundamentos teóricos del proceso de transferencia de calor en el equipo de transferencia térmica	47
7.3.4.1.	Transferencia de calor y termodinámica.....	47
7.3.4.2.	Modos de transferencia de calor.....	48
7.3.4.3.	Ventajas de un sistema de fluido térmico.....	50
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE	53

9.	METODOLOGÍA	55
9.1.	Ubicación de la investigación	55
9.2.	Tipo de enfoque	55
9.3.	Tipo de investigación	56
9.4.	Unidades de análisis.....	56
9.5.	Fuentes de investigación	57
9.6.	Descripción de fases.....	57
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	61
11.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	65
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	67
12.1.	Recuso tecnológico.....	67
12.2.	Recurso humano.....	67
12.3.	Permiso	68
12.4.	Recursos disponibles.....	68
13.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de solución	18
2.	Análisis de materiales por desgaste	34
3.	Dilución por combustible y hollín vs horas de operación	36
4.	Prueba de viscosidad y metales de desgaste vs hora de operación	38
5.	Valores obtenidos de basicidad.....	40
6.	Equipo de transferencia térmica con serpentín.....	42
7.	Mantenimiento a serpentín	46
8.	Variación de conductividad térmica con la temperatura de líquidos	49
9.	Curva de presión/temperatura. Vapor saturado de agua vrs. fluido térmico	51
10.	Cronograma	65

TABLAS

I.	Costos generales de operación al utilizar gas propano	12
II.	Comparación de medias de muestras múltiples de viscosidades.....	63
III.	Recurso financiero	67

GLOSARIO

Análisis de aceite	Herramienta utilizada en el mantenimiento predictivo y proactivo para conocer el estado del lubricante en un equipo, permitiendo detectar fuentes de desgaste para prevenir daños significativos en las piezas de la maquinaria.
Corrosión	Reacción química de óxido, reducción en diversos materiales al entrar en contacto la pieza, el ambiente y el agua por medio de una reacción electroquímica.
Ferrografía	Radica en una medición cuantitativa de la concentración de las partículas de determinado material.
Lubricante	Son sustancias sólidas, semisólidas o líquidas de origen animal, vegetal, mineral o sintético, que pueden utilizarse para reducir el rozamiento entre piezas y mecanismos en movimiento.
Mantenimiento	Conjunto de técnicas que ayudan a tener un óptimo funcionamiento y confiabilidad de los equipos para determinado proceso.

Oxidación	Reacción química donde un metal o un no metal ceden electrones, y por tanto aumenta su estado de oxidación.
TAN	Número total de acidez o parámetro que indica la capacidad del aceite respecto a la oxidación del ambiente o sistema donde se encuentre, es decir capacidad del lubricante para neutralizar los ácidos generados por el ambiente donde circula.
TBN	Número Base Total que es la habilidad o característica que debe cumplir un aceite teniendo una capacidad de limpieza o función detergente contra diversos ácidos generados por el material en donde circula.
Viscosidad	Propiedad física de los fluidos, la cual emerge de las colisiones entre las partículas del fluido que se mueven a diferentes velocidades, provocando una resistencia a su movimiento.
VOSO	Inspección previa al mantenimiento preventivo, el cual no entra en contacto directo con los equipos. Sus siglas significan: ver, oír, sentir y olfatear.
Transferencia térmica	Rapidez o razón con la que se transfiere calor en un determinado sistema a través de mecanismos de conducción, convección y radiación.

1. INTRODUCCIÓN

Con el paso de los años, la búsqueda de nuevas alternativas de combustibles ha hecho que las industrias busquen nuevos productos o subproductos de sus procesos, para reducir los costos de producción en sus líneas de negocio.

Las plantas procesadoras de alimentos, por lo general, utilizan para sus procesos de cocción gas propano. Debido a los altos costos que este hidrocarburo ha tenido en la última época, se han dado a la tarea de buscar nuevas alternativas para sus procesos. Por lo anterior existe una importante búsqueda e investigación de equipos que usen otros productos o subproductos que favorezcan la operación.

Una de las alternativas que se ha encontrado ha sido el equipo de transferencia térmica, actualmente utilizado para evaporar alcohol tipo cabezas y colas. Este, en su composición, cuenta con un serpentín por el cual circula aceite térmico. El serpentín se encarga de calentar el alcohol y evaporarlo para utilizarlo como combustible en las cubas de la cocina industrial, para luego procesar los alimentos.

El equipo está diseñado para utilizar las propiedades carburantes del alcohol tipo cabezas y colas. El equipo presenta el problema de no contar con un mantenimiento específico, por lo que el origen del presente proyecto se enfoca en la realización de un análisis al aceite térmico utilizado en el equipo, para de esta manera innovar en la planta industrial de alimentos presentando

un mantenimiento proactivo, detectar grados de corrosión y disminuir la posibilidad de que el equipo tenga que detener su operación.

La importancia del presente proyecto se basa en el mantenimiento del equipo de transferencia térmica por donde circula el aceite. Esta es la parte principal del equipo. Resalta la importancia ya que, si el equipo falla, se utilizaría gas propano, lo cual incrementa el costo de operación.

Como parte del esquema de solución se presentará la realización de un análisis de aceite, buscando variables que ayuden a estimar el rendimiento máximo que llegue a proporcionar el fluido térmico. También se presentará un análisis costo-beneficio del proceso y se establecerá el grado de degradación o degeneración que llegue a tener el fluido y el daño que ocurra en las paredes por donde circula. Con estos hallazgos se podrá aportar un mejor mantenimiento al equipo y estimar algún problema relacionado.

Adicionalmente, se debe investigar qué tipo de aceite es el más recomendado para utilizar en el proceso. En la investigación también se emplearán variables fisicoquímicas, para prolongar el tiempo de vida del equipo de transferencia térmica. Estudiando los costos de los análisis de aceite, es factible la toma de muestra y envío al laboratorio elegido para realizar los estudios y presentar los resultados.

El trabajo de investigación se compone de cinco capítulos. En el capítulo I se describirá el marco teórico, referente a conceptos sobre mantenimiento, así como conceptos de análisis de aceite y las variables fisicoquímicas a estudiar, además de especificaciones generales relacionadas con el equipo de transferencia térmica que se está evaluando y utilizando, para aclarar de esta manera las posibles fallas que este pueda tener.

En el capítulo II se presentará el desarrollo de la investigación, la metodología utilizada para la toma de muestras de los análisis de aceites y los parámetros que se deben tomar en cuenta para estos muestreos.

En el capítulo III se describirán los resultados obtenidos en las diferentes etapas de análisis, propuestas en la técnica de análisis del fluido, así como los resultados finales obtenidos, y se presentará un plan de mejora al sistema de transferencia térmica. Además, se dará noticia de la selección de un aceite térmico adecuado para este sistema.

En el capítulo IV se presentará una interpretación de los resultados obtenidos en el ensayo. Por último, se presentarán las conclusiones y recomendaciones obtenidas luego del presente estudio.

2. ANTECEDENTES

El mantenimiento es una actividad esencial y fundamental para los equipos de una línea de producción. Este proceso se convierte, entonces, en parte importante para mantener en óptimas condiciones de funcionamiento los equipos y de esta manera evitar el incumplimiento con los compromisos adquiridos por la empresa.

Contreras, M. (s.f.), en un documento escrito para la empresa Exxon Mobil, expone que los fluidos de transferencia térmica son insumos críticos en el proceso en la industria, dado que se utilizan en procesos grandes y de alta rotación, en los cuales muchas veces no se realizan análisis para estimar el tiempo de vida útil. La operación de los equipos se ve afectada por la calidad de los aceites térmicos utilizados, si no se estima bien o no se siguen las instrucciones del fabricante para el reemplazo del mismo. Esto ante la pérdida de sus características, por lo que es necesario realizar periódicamente un análisis de aceite y ensayos para estimar bien el tiempo de vida útil. Dicho estudio aporta a las industrias en tomar en cuenta la calidad de los aceites térmicos utilizados y realizar análisis de aceite periódicos para estimar fallas en los equipos.

Por su parte, Salgado, Rico y Contreras (2009): Exponen que el análisis del aceite recopila información sobre el grado de contaminación que tiene el fluido para de esta manera estimar el óptimo funcionamiento del equipo, esto debido a que el estudio muestra la presencia de las partículas de desgaste que son ajenas a este. Este estudio es importante debido a que el análisis de aceite muestra la salud del fluido y la protección que le puede dar en funcionamiento al equipo.

De la misma manera, Aponte y otros colegas (2008) indican los costos debido a la corrosión en que se incurre al realizar mantenimientos preventivos y correctivos de equipos y de instalaciones en la industria, estos se asocian a los problemas ocasionados por el fenómeno de oxidación, lo cual, al minimizarse, optimizará los costos. Mencionan como aporte principal el incremento de costos en la operación del proceso, lo cual es bueno tomarlo en cuenta, ya que incrementa el costo de operación.

Siguiendo con los casos, Briso Medina (2006) “define en el tratamiento y mantenimiento del aceite térmico que se deben realizar análisis en el proceso y en el laboratorio para determinar el desgaste que el aceite sufre al estar en operación. Esto es importante debido a que ayuda a estimar la vida útil del aceite y el estado del equipo.”

Por último, Altmann (2005) expone que las variables a controlar en un lubricante son fricción, desgaste, corrosión, temperatura, contaminación y en algunos casos la transmisión de potencia. El análisis de aceite ayudará a obtener la información sobre los contaminantes y partículas de desgaste por donde este circula. Lo anterior aporta a tener una mejor vista de la salud del lubricante, la contaminación acumulada y el desgaste del equipo. Además de establecer variables medibles para estimar fallas.

Los presentes datos son importantes dada la relevancia que tienen aspectos como el efecto de corrosión, el desgaste de materiales, la falta de importancia a técnicas no destructivas en los equipos, así como el análisis de aceite a fluidos del proceso y la falta de enfoque económico al mantenimiento, lo cual es muy importante, específicamente para el equipo de transferencia térmica de la presente investigación.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Contexto general

El presente trabajo de investigación se ejecutará en una empresa agroindustrial dedicada a la producción de azúcar, la cual, para el corte de caña de azúcar, necesita de cortadores a quienes se da alimentación. A su vez la empresa cuenta con una planta procesadora de alimentos, la cual es la responsable de brindar alimentación a ocho mil cortadores en tiempo de zafra. Como causa del incremento en el precio de los combustibles, la búsqueda de mejoras y aprovechar al máximo los recursos de la fábrica, en especial de la destilería, se decidió obtener un equipo de transferencia térmica que evapore el alcohol tipo cabezas y colas para aprovecharlo como medio carburante.

3.2. Descripción del problema

La búsqueda de reducción de costos en los procesos ejecutados por las industrias investiga mejoras en los sistemas implementados. El mantenimiento proactivo puede ser una solución para aumentar la vida de los equipos, en la cual la inversión realizada para la compra de estos equipos no se vea afectada por una falla o una parada no programada.

La causa de la problemática central para el equipo de transferencia térmica en estudio es que no cuenta con un mantenimiento definido o una secuencia de ensayos no destructivos para predecir fallas. Este equipo es utilizado como medio para transferir el alcohol y utilizarlo como fuente de combustión en las cocinas industriales en sustitución del gas propano. Lo que

se busca con el análisis de aceites es saber cuánto es el rendimiento óptimo que se puede obtener del aceite térmico, así como conocer el grado de corrosión que va sufriendo el equipo con el paso del tiempo. En el presente solo se realiza un mantenimiento preventivo escueto e inspecciones V.O.S.O (Ver, Oír, Sentir y Olfatear), las cuales ayudan a ser más precisos en evitar consecuencias tales como el paro del equipo o alguna explosión por daño de tubería o incendio.

3.3. Formulación del problema

Tomando en cuenta los aspectos se puede plantear la siguiente problemática:

3.3.1. Pregunta general

¿Qué tipo de mantenimiento se puede utilizar para prevenir fallas en el equipo de transferencia térmica de alcohol para una planta procesadora de alimentos?

3.3.2. Preguntas específicas

- ¿Qué técnica o ensayo no destructivo ayudará a estimar el tiempo de vida útil del aceite térmico utilizado en el equipo de transferencia térmica?
- ¿De qué manera el análisis de aceite determinará el grado de corrosión de las tuberías por donde circula?
- ¿Cómo se obtendrá una mejora económica a largo plazo?

- ¿Qué análisis se realizarán a los estudios efectuados para obtener una mejora en el sistema?

3.4. Delimitación del problema

Este trabajo de investigación se realizará en una planta industrial de alimentos, la cual cuenta con un equipo de transferencia térmica que ayuda a evaporar el alcohol utilizado como combustible, para cocción de los alimentos en la cocina industrial. Este proceso es importante para la operación que se realiza de dar alimentación al personal de corte de un ingenio azucarero.

La empresa implementó este sistema debido al alto costo de los combustibles y a la variación en los precios de combustibles utilizados, en especial gas propano. Al mismo tiempo se busca aprovechar el alcohol tipo cabezas y colas, el cual tiene una alta capacidad calorífica y es de utilizad para el proceso. Contar con un equipo en óptimo funcionamiento es importante para no inflar los costos de operación de la cocina industrial.

4. JUSTIFICACIÓN

En el presente diseño de investigación se toma en cuenta dos líneas de investigación establecidas para la Maestría en Ingeniería de Mantenimiento, las cuales son: primero el diseño y conservación de materiales y segundo la gestión del mantenimiento. Se adquiere apoyo de cursos como: tribología aplicada, prevención de la corrosión y oxidación, técnica de ensayos no destructivos y administración de mantenimiento.

La industria azucarera en Guatemala tiene una función muy importante a nivel económico en el país. En su afán de buscar mejoras a sus procesos, ha innovado al solicitar diseños de equipos nuevos, que ayuden a mejorar sus procesos y, sobre todo, a eliminar desperdicio de sus procesos, para de esta manera encontrarles uso a los desechos de sus subprocesos.

Un ejemplo es el equipo de transferencia térmica que se utiliza en la planta procesadora de alimentos de un ingenio azucarero, el cual se utiliza para evaporación de alcohol tipo cabezas y colas, para reutilizarlo como fuente de combustión. Aquí surge la necesidad de contar con un mantenimiento para este equipo, parte principal de este trabajo de investigación.

Es importante destacar que la realización del presente trabajo de investigación busca desarrollar un método de mantenimiento proactivo para el equipo de transferencia térmica de la planta procesadora de alimentos, aportando información técnica y actualización de procesos a través de ensayos no destructivos de mantenimiento. Este mantenimiento busca alargar la vida del equipo en operación, beneficiando al ingenio en su función, obteniendo un

ahorro operacional y financiero para la operación de la planta de alimentos, que siempre busca innovar para obtener bajos costos en su operación.

Como se puede observar en la tabla I, la pérdida por no tener en funcionamiento este equipo asciende a Q 8 700,00 diarios, lo cual afecta el presupuesto del área administradora de este servicio.

Tabla I. **Costos generales de operación al utilizar gas propano**

Galones de gas propano utilizados. Diario	Costo	Total Q. Diario	Días Zafra	Global
580	Q16,89	Q 9 796,20	190	Q 1 861 278

Fuente: Ministerio de Energía y Minas. *Precios de agosto*. 2015.

Los objetivos planteados para mejora del equipo en estudio serán dirigidos a las distintas áreas del ingenio, donde se tienen diversos aceites que hacen funcionar múltiples equipos y asimismo replicar estos estudios para su mejor funcionamiento.

“El objetivo fundamental de un análisis de aceite usado es prevenir un mantenimiento mayor en un componente, ya sea este un motor, compresor, turbina o reductor, determinando el estado del aceite y los posibles desgastes existentes, ayudando a evitar una costosa reparación” (Guillén, 2007, p. 26). Esto refiere al objetivo planteado de establecer parámetros de desgaste en el equipo de transferencia térmica.

“Es importante determinar los límites terminales y patrones presentados por los equipos previo a fallar, de modo que al observarlos se puedan tomar

acciones para corregir el problema antes de extenderse”. (Castellanos, 2014, p. 83). Esto ayuda a establecer un mantenimiento proactivo, identificando fallas potenciales y pudiendo preverlas antes que provoquen daños serios en el equipo.

A través de los conocimientos obtenidos en la Maestría en Ingeniería de Mantenimiento, y sobre todo del presente trabajo de investigación, se busca hacerse presente en los diversos sectores donde el investigador se desempeñe profesionalmente.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Establecer un método de mantenimiento proactivo para el equipo de transferencia térmica de una planta procesadora de alimentos.

5.2. Objetivos específicos

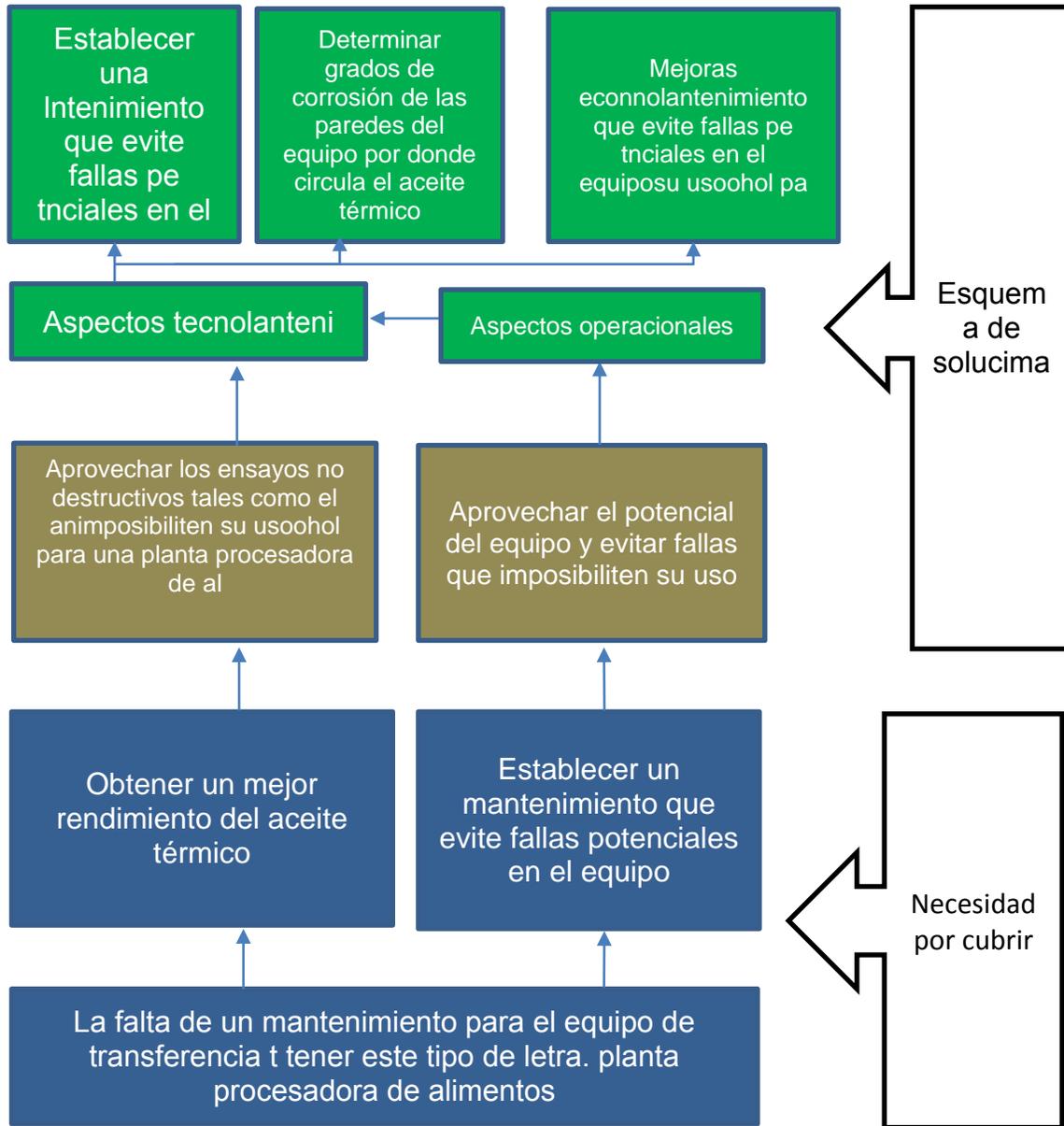
- Proponer técnicas o ensayos no destructivos que puedan ser utilizadas en el equipo de transferencia térmica y que a través de los resultados obtenidos en los ensayos se ayude a determinar hasta qué punto el aceite pierde sus propiedades útiles.
- Evaluar, a través de los resultados del análisis de aceite térmico, los parámetros o variables fisicoquímicas necesarias, determinando el grado de corrosión de las paredes del serpentín del equipo de transferencia térmica.
- Establecer una línea de mantenimiento para el equipo de transferencia térmica a partir de los ensayos no destructivos practicados al aceite, logrando una mejora económica en el rendimiento de uso y pudiendo determinar el tiempo de uso óptimo.
- Diseñar un análisis descriptivo y correlacional con los resultados obtenidos a partir de los estudios efectuados para lograr una mejora del sistema en evaluación.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Con el afán de optimizar sus procesos las industrias azucareras buscan alternativas para el ahorro energético. Además que los equipos que adquieren para este proceso no presenten fallas inesperadas y cuentan con una línea de consumibles listos para una reparación o su mantenimiento programado.

Es importante buscar y encontrar soluciones eficientes y eficaces que ayuden a mermar las fallas. Cuando estas se presentan, la inoperatividad de los equipos hace que se incrementen los costos de operación, al tener que sustituir las fuentes de combustión para el uso del equipo de transferencia térmica, dado que el equipo descrito evita el consumo de gas propano.

Figura 1. Esquema de solución



Fuente: elaboración propia.

La estructura para la ejecución del proyecto se enfocará en analizar el serpentín donde circula el aceite térmico, además de varios análisis de aceite

durante un período definido. Esto se realizará buscando una solución a partir de los análisis del fluido térmico obtenidos y aplicándolos al funcionamiento actual del equipo, mostrando una propuesta viable de solución al problema de la carencia de un mantenimiento para el equipo en mención. Esta falta puede llegar a crear pérdidas de tiempo a futuro, así como pérdidas económicas y que no creen valor a la operación.

El tiempo promedio de realización del estudio abarca alrededor de 9 ó 10 meses, analizando las siguientes variables en el estudio del ensayo no destructivo de análisis de aceite:

- Partículas de desgaste por ferrografía o espectrométrico
- Análisis por dilución por agua
- Análisis por dilución por combustible
- Viscosidad
- Total de sólidos
- Número Base Total (TBN)
- Número Total de Acidez (TAN)

El presente trabajo pretende aplicar las herramientas aprendidas en la Maestría en Ingeniería de Mantenimiento, utilizando los resultados de los análisis de aceite como instrumentos de mantenimiento proactivo para el equipo de transferencia térmica, para de esta manera estimar fallas de forma anticipada, creando ahorro económico y valor productivo a la eficiencia del equipo y una operación constante para la unidad del ingenio azucarero.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Mantenimiento

Los ingenios azucareros, en su afán de reutilizar y sacar provecho de sus subproductos y así abastecerse internamente para otros procesos, a los cuales brindan servicio, han implementado diversos equipos. Un caso puntual es el equipo de transferencia térmica, el cual provee de energía calórica a los procesos de alimentación, a través de la evaporación del subproducto tipo cabezas y colas del proceso de destilación de alcohol, para luego quemarlo en las cocinas industriales.

Es de vital importancia que estos equipos que permiten la cocción de los alimentos puedan mantenerse en óptimo funcionamiento y que los sistemas no presenten fallas que puedan frenar el proceso de la planta industrial de alimentos, adicional a que incurran en gastos que encarezcan la operación de la planta. Para que se logre se debe tener un óptimo mantenimiento de los equipos y anticiparse a las fallas, buscando tácticas del mantenimiento que ayuden a optimizar la vida de estos equipos.

La presente investigación se enfocará en el serpentín que difunde calor al alcohol tipo cabezas y colas para su evaporación, y en la implementación del análisis de aceite como herramienta de mantenimiento. Esta ayudará a detectar cualquier anomalía en la transferencia de calor al proceso para así tener un mantenimiento proactivo, como táctica para detección y corrección de cualquier falla.

Los aceites térmicos son utilizados para transferir calor de un lugar determinado a otro, esto por su alta capacidad de resistencia a elevar su temperatura, a través de ser previamente calentados. Se les denomina fluidos caloportadores de transferencia térmica y en este equipo son parte fundamental de sistema en evaluación.

La principal función del mantenimiento es sostener la funcionalidad de los equipos y el buen estado de las máquinas a través del tiempo. Bajo premisa se puede entender la evolución del área de mantenimiento al atravesar las distintas épocas, acorde a las necesidades de sus clientes, que son todas aquellas dependencias o empresas de procesos o servicios que generan bienes reales o intangibles mediante la utilización de estos activos para producirlos. (Mora Gutiérrez, 2009, p. 3). El equipo de transferencia térmica genera un valor agregado al proceso de la empresa.

Como mantenimiento se puede definir al conjunto de técnicas que ayudan a tener en óptimo funcionamiento y confiabilidad de los equipos que son útiles para determinado proceso. Esto incluye una serie de actividades y estrategias para determinar y anticiparse a fallas que puedan ocurrir en cualquier momento y afecten en determinado proceso, así como tener planes de acción definidos para fallas que no estén contempladas y que deban ser correctivas.

Por su parte, Cornú Barrón, Del Rio Vegagil, Escobedo, Guerrero Quiroz y Morales Mungía (2010), indican que “se define como el conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que instalaciones, edificios, industrias, etc., puedan seguir funcionando adecuadamente” (p. 12), tomando en cuenta que lo que se desea es que el equipo en función no tenga paros inesperados o se deba afectar la producción de la planta.

7.1.1. Mantenimiento proactivo

Este tipo de mantenimiento busca obtener una mayor productividad, buscando reducir costos, lo cual es muy útil en el análisis de aceites que se desea implementar en el equipo de transferencia térmica. A través de este mantenimiento es posible determinar el mejor tipo de insumo para prolongar la vida útil del equipo y disminuir costos directos.

Mora Gutiérrez (2009) indica que el mantenimiento proactivo es una táctica de mantenimiento dirigida fundamentalmente a la detección y la corrección de las causas que generan el desgaste y que conducen a la falla de la maquinaria. Una vez localizadas las causas que generan el desgaste, no se debe permitir que continúen presentes en la maquinaria, de hacerlo su vida y desempeño se ven reducidos. (p. 451)

Esta táctica de mantenimiento ayuda a definir los parámetros de evaluación, los cuales son clave y significativos en lograr una mejor vida útil de los equipos para así disminuir los procesos de mantenimiento. Como indica Mora Gutiérrez (2009): “Mediante este mantenimiento lo que se busca es la causa raíz de la falla, no sólo el síntoma” (p. 451).

Es una herramienta proactiva que ayuda a tener un mantenimiento planeado y así llevar un control numérico y estadístico de la vida de los consumibles y/o piezas de recambio, los cuales hay que tomar en cuenta para que el equipo funcione en óptimas condiciones. También a través de esta se puede evitar tener costos altos para la inversión en estos equipos, o en el peor de los casos evitar el recambio del equipo. El hecho de anticipar fallas es una ventaja de esta táctica.

El mantenimiento proactivo maneja acciones correctivas con base en los problemas encontrados y plantea acciones de mantenimiento predictivas y preventivas que ayudan a atacar de raíz fallas ocasionales.

Mora Gutiérrez (2009) plantea que el mantenimiento proactivo recibe mucha atención en el mundo entero como uno de los medios más importantes para lograr ahorros insuperables por técnicas convencionales de mantenimiento. Al sustituir una filosofía reactiva del mantenimiento por una proactiva se evita seguir en las condiciones no estándar de falla y el desgaste prematuro de equipos.

Con esta idea el autor mencionado estima que utilizar un análisis de aceite como herramienta de mantenimiento proactivo en el equipo de transferencia térmica será útil para estimar fallas en el sistema y así plantear el cambio de piezas antes de existir cualquier falla, y de esta manera evitar el paro de operaciones del equipo.

Una buena táctica proactiva debe fijar metas o estándares de causa raíz de las fallas, mantener el control de la causa raíz y conservarla y finalmente mantener vigilancia permanente en los elementos de control de la causa raíz, estos serían “los tres pasos para implementar la táctica proactiva con el fin de lograr el éxito de la aplicación y lograr sus inmensos beneficios” (Mora Gutiérrez, 2009, p. 453).

Lo anteriormente descrito fundamenta el establecimiento de una táctica proactiva, lo cual ayuda a crear conciencia en el personal de la empresa, lo que puede verse reflejado en los ahorros de las industrias.

Altmann (2005) menciona que el objetivo del mantenimiento proactivo es extender la vida de la maquinaria. Una vez que se ha identificado la causa raíz que genera el desgaste se debe eliminar ya que, para extender la vida en servicio de los componentes, se deben mantener los parámetros de causa de falla dentro de límites aceptables. (p. 3).

También, como menciona White (2010), “Un programa de mantenimiento proactivo exitoso gradualmente eliminará los problemas de la máquina a través de un período de tiempo.” (p.148). Esto dará el resultado de prolongar la vida útil del equipo, una reducción de tiempo inmovilizado y una capacidad de producción más amplia de tiempo.

7.1.2. Tipos de mantenimiento

El mantenimiento preventivo, predictivo y el correctivo van de la mano dado que ayudan a estimar fallas y anticipar cualquier inconveniente. Se definen de la siguiente manera:

- Mantenimiento preventivo

Mora Gutiérrez (2009) especifica que “El mantenimiento preventivo es la ejecución de un sistema de inspecciones periódicas programadas racionalmente sobre el activo fijo de la planta y sus equipos.” (p. 429). Su definición orienta a las inspecciones generales destinadas a la conservación de equipos o instalaciones, mediante la realización de revisiones y reparaciones que garanticen el buen funcionamiento y fiabilidad del equipo.

- **Mantenimiento predictivo**

Cornu Barrón y otros autores (2010) indican que este mantenimiento “Consiste en inspeccionar los equipos a intervalos regulares y tomar acción para prevenir las fallas o evitar consecuencias de las mismas. Incluye tanto las inspecciones objetivas (con instrumentos) y subjetivas (con los sentidos) así como la reparación del defecto (falla potencial)” (p. 12). Así mismo, también influyen las mediciones o diversos ensayos no destructivos, entre los cuales se puede tener los análisis de vibraciones, espesor de paredes, termografías y radiografías, así como el análisis de aceites en el cual se enfoca esta investigación.

- **Mantenimiento correctivo**

Mora Gutiérrez (2009) indica que: “El mantenimiento correctivo consiste en la pronta reparación de la falla y se le considera de corto plazo” (p. 426). Según esta indicación, el presente mantenimiento va encaminado a reparar en su defecto un equipo que ya presentó un problema, el cual ya está ocasionando un paro no programado y por ende pérdidas económicas. El punto principal es no recaer en este tipo de mantenimiento o recaer lo menos posible, dado que es fuente principal de determinada operación.

7.1.3. Técnicas de ensayos no destructivos

Estas técnicas son indispensables en el mantenimiento de todos los equipos, los cuales son importantes en la operación de cualquier empresa, esto ayuda a alcanzar un nivel de calidad óptimo en el producto final y estimar la evolución de un posible desgaste o deterioro en el equipo.

Amsler (s.f.) indica que los Ensayos No Destructivos (END) consisten en la aplicación de métodos de exámenes sobre materiales, componentes y sistemas para verificar la presencia o no de discontinuidades en su interior o que emergen a la superficie, sin alterar sus propiedades ni el comportamiento futuro. (p. 6). Entre los métodos más comunes se tiene:

- Corrientes inducidas
- Termografía infrarroja
- Partículas magnetizables
- Líquidos penetrantes
- Radiografía industrial
- Ultrasonido
- Análisis de lubricantes o aceites

Como menciona Terotecnic (s.f.): “Las acciones proactivas de mantenimiento se basan en la identificación y en la corrección de las causas que originan los fallos en los equipos y para eso es indispensable técnicas del mantenimiento predictivo como por ejemplo el análisis de vibración, el de termografía o el análisis de lubricantes.” Respecto al análisis de lubricantes, en este se basará la presente investigación por el tipo de equipo de que se trata.

7.2. Análisis de aceite

A continuación se hace se presenta la descripción del análisis de aceite.

7.2.1. Qué es un análisis de aceite

Como indica Castellanos (2014): “Desde hace muchos años se ha utilizado la inspección de los lubricantes para conocer las partículas presentes en este, y de esa forma tener una idea del estado de los componentes de un equipo.” (p. 26). Dado lo anterior se puede definir que el análisis de aceite es un ensayo no destructivo que analiza los componentes del lubricante en estudio y así determina el estado del equipo.

Algunas de las principales características que deben tener los lubricantes son: estabilizar la temperatura del sistema, controlar la corrosión, controlar el desgaste de las piezas y controlar la contaminación.

Un análisis de aceite es un servicio que se utiliza en muchos procesos, da información completa de los desgastes y contaminantes que pueda tener determinado equipo por el que circula el aceite. Así lo establece Altmann (2005): “El análisis de aceite no sólo va a permitir monitorear el estado de desgaste de los equipos, detectar fallas incipientes, sino también establecer un programa de lubricación basado en condición” (p. 4).

Mora Gutiérrez (2009) indicó que: “La tribología es la ciencia que apoya el desarrollo de planes preventivos sobre las formas de evitar la fricción y el desgaste” (p. 406).

Entre las variables fisicoquímicas que son relevantes para los lubricantes se tiene la viscosidad, el punto de inflamación, punto de combustión, el punto de goteo y la resistencia a la emulsificación.

- Viscosidad

Chang (2002) indica que: “La viscosidad es una medida de la resistencia de los líquidos a fluir. Cuando más viscoso es un líquido, más lento es su flujo. La viscosidad de un líquido suele disminuir con aumento de la temperatura” (p. 425), razón por la cual en el estudio de un fluido térmico es una variable importante.

- Punto de inflamación

Trujillo Mejía (2010) expone que: “Es la temperatura mínima a la cual un líquido emite vapores que, en concentración adecuada, pueden con el oxígeno del aire formar una mezcla inflamable” (p. 116). Punto importante para la evaluación del fluido térmico, el cual por sus características debe tener un punto de inflamación fuera del rango de la temperatura de operación.

- Punto de combustión

Aguilar, Godoy y Gómez (2001) exponen que: “Es la temperatura mínima a la cual una mezcla de aire y vapores del aceite arde 5 seg. consecutivos, por lo menos. Su diferencia con respecto al punto de inflamación permite formar juicio sobre la presencia de componentes volátiles”. (p. 8).

- Punto de gota

Sarti (2009) expone que: “El punto de gota es de suma importancia porque permite conocer la temperatura máxima de empleo de una grasa” (p. 25). Punto que ayuda a tener claro hasta dónde puede funcionar en operación el lubricante térmico.

- Punto de emulsificación

Este parámetro es clave en un aceite, ya que indica la capacidad que tiene el mismo de mezclarse con agua. Se puede mencionar los aditivos, que son parte importante de los lubricantes, que ayudan a mejorar su función: detergentes, antiespumantes, emulsificadores, inhibidores de corrosión, entre otros.

Mora Gutiérrez (2009) menciona que: “Entre las pruebas más solicitadas y utilizadas sobresalen: residuos depositados (filtros, colectores magnéticos), residuos en suspensión (análisis del aceite con espectrómetro y análisis ferrográfico), y estado general del aceite en uso (espuma, emulsión, color, demás variables físico - químicas del lubricante)” (p. 407).

El aceite sufre con el paso del tiempo una degradación de sus propiedades, lo cual disminuye la vida útil del producto y los fines a lograr con su uso. Punto que es de vital importancia en el análisis de la tubería por donde este circula en el equipo de transferencia térmica.

Todas las pruebas son complemento directo para definir el estado de la pared interna del serpentín del equipo de transferencia térmica. El cual, al tener en su interior aceite térmico y realizar un análisis, indicaría el grado de degradación, contaminación y estado de esta pieza importante para cumplir el proceso de evaporación de alcohol.

De lo mencionado por varios de los autores se puede definir que la técnica de análisis de aceite ayuda a estimar el estado de un lubricante, también cómo se encuentra el espacio por donde este circula en el equipo y podría dar los

elementos necesarios para determinar un cambio de fluido térmico o tener un paro programado para mejorar la eficiencia del equipo.

7.2.2. Características fisicoquímicas para un análisis de aceite

Venegas y Navarrete (s.f.) indican que: “Los aceites lubricantes usados en motores de combustión interna deben cumplir con las propiedades que permiten el correcto desempeño de los equipos” (p. 2), esto es primordial en el funcionamiento de cada equipo y aún más en el funcionamiento correcto, por lo que hay que ser minucioso al realizar la elección de este fluido térmico.

Mendoza Sandoval (2009) menciona que los diferentes fabricantes de fluidos térmicos recomiendan distintos programas de revisión de los fluidos. Se deberá discutir con el fabricante del fluido a emplear el programa de análisis que él recomienda para un fluido térmico. En particular, basándose en el programa de operación del mismo. (p. 92). Es importante que el aceite se encuentre en óptimas condiciones para evitar problemas con el sistema y también la degradación del líquido térmico.

Mendoza Sandoval (2009) indica que: “Un programa de análisis mínimo del fluido térmico podría ser el de analizar a los 6 meses de funcionamiento del calentador, después a los 12 meses, y determinar si la calidad del fluido no se ha deteriorado al término de este período” (p. 92)

El análisis de laboratorio es realizado para determinar las medidas que pueden indicar el estado del fluido térmico y el estado de las máquinas, dando lineamientos de comportamiento del desgaste y estado de las partes del equipo en operación. Entre las características que se deben tomar en cuenta están:

- Análisis de la contaminación del aceite
 - Partículas de desgaste por ferrografía o espectrométrico
 - Análisis por dilución por agua
 - Análisis por dilución por combustible

- Variables fisicoquímicas del aceite
 - Viscosidad
 - Índice de viscosidad
 - Densidad
 - Punto de inflamación
 - Punto de fluidez

- Total de sólidos
- Número Base Total (TBN)
- Número Total de Acidez (TAN)
- Ceniza sulfatada
- Resistencia a la oxidación
- Demulsibilidad

7.2.3. Partículas de desgaste por ferrografía o espectrométrico

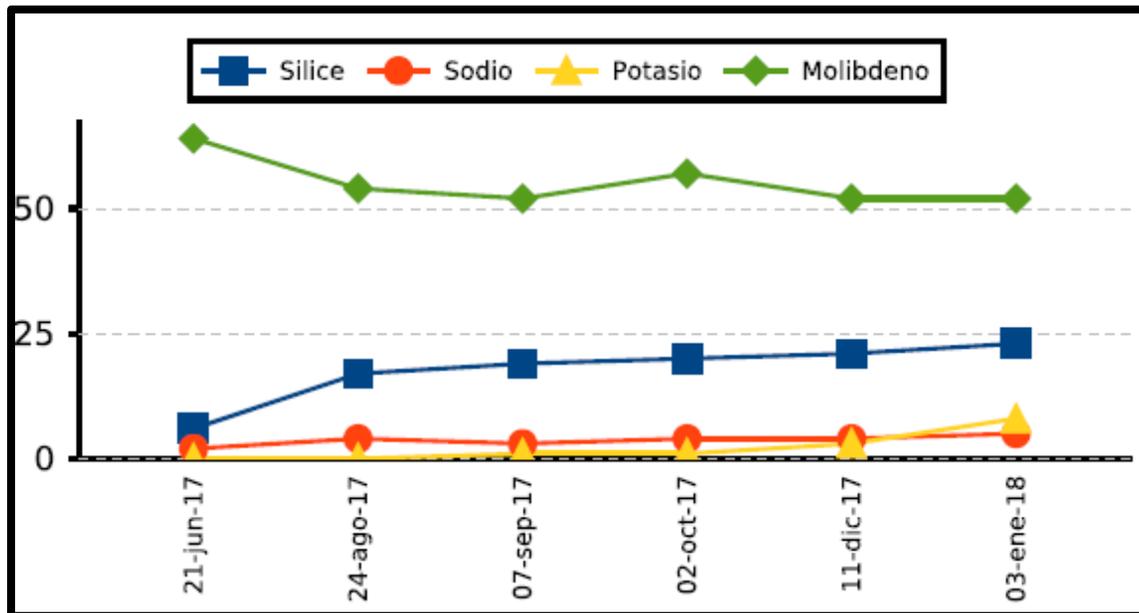
Los equipos crean partículas microscópicas durante la operación, pese a que los aceites contienen muchos componentes que pretenden protegerlos. El esfuerzo mecánico que producen genera deformaciones y remociones de materiales de las superficies por donde estos ejecutan su trabajo.

Como indica Venegas y Navarrete (s.f.): “El control de los metales de desgaste se considera el parámetro de seguimiento más importante después de la viscosidad, ya que nos refleja el desempeño y desgaste de las partes de los equipos” (p. 4). Este análisis puede realizarse por ferrografía, Cárdenas Mirón (2004) indica que: “Es una técnica que provee un análisis microscópico de partículas separadas de todos los tipos de fluidos” (p. 53). Esta técnica mide la relación entre las partículas grandes y pequeñas de la muestra tomada en una placa de vidrio, la cual, al observarla a través de un microscopio dicromático, permite identificar las fuentes probables de desgaste del equipo, resaltando las partículas que el aceite lleva consigo.

También existe el método de análisis elemental espectrométrico, el cual se utiliza para detectar, de igual forma que la ferrografía, los elementos metálicos presentes en el aceite como consecuencia de la operación. En esta técnica la muestra de aceite térmico, como indica Cárdenas Mirón (2004): “Es energizada para hacer que cada elemento emita o absorba una cantidad cuantificable de energía, lo cual indica la concentración de elementos en el aceite” (p. 54).

Esta última técnica es muy precisa y rápida, lo que la hace una parte importante en la mayoría de los laboratorios de análisis de aceite, ya que da una información de la contaminación y el desgaste que está sufriendo el equipo, como se puede observar en la figura 2, en la cual se muestran los contenidos de sílice, sodio, potasio y molibdeno en relación a la fecha del muestreo.

Figura 2. **Análisis de materiales por desgaste**



Fuente: Laboratories Polatis. (2018). *Análisis de materiales por desgaste*.

7.2.4. **Análisis por dilución por agua**

Esta prueba en general se realiza en un laboratorio e indica la cantidad de agua disuelta en la muestra de aceite usado, básicamente ningún sistema debe contener agua disuelta por donde circula el fluido térmico. Esto puede ayudar a determinar un mantenimiento correctivo debido a alguna filtración dentro del sistema por donde circula el lubricante.

Venegas y Navarrete (s.f.) indican que: “Bajo condiciones normales no se debería encontrar agua en ningún sistema de lubricación, pero de encontrarse se debe buscar la vía de ingreso de la misma” (p. 3). Lo anterior se realiza para determinar el drenaje de este aceite contaminado y verificar fugas y corregirlas.

Altmann (2005) indica que: “Los contaminantes transportados en el aceite afectan a los distintos componentes del circuito; bombas, motores, válvulas y cilindros hidráulicos por la corrosión producida por los ácidos que se forman debido a la oxidación del aceite y la contaminación con agua” (p. 7). Controlar las filtraciones con agua es fundamental en el buen funcionamiento del aceite térmico en el equipo.

7.2.5. Análisis por dilución por combustible

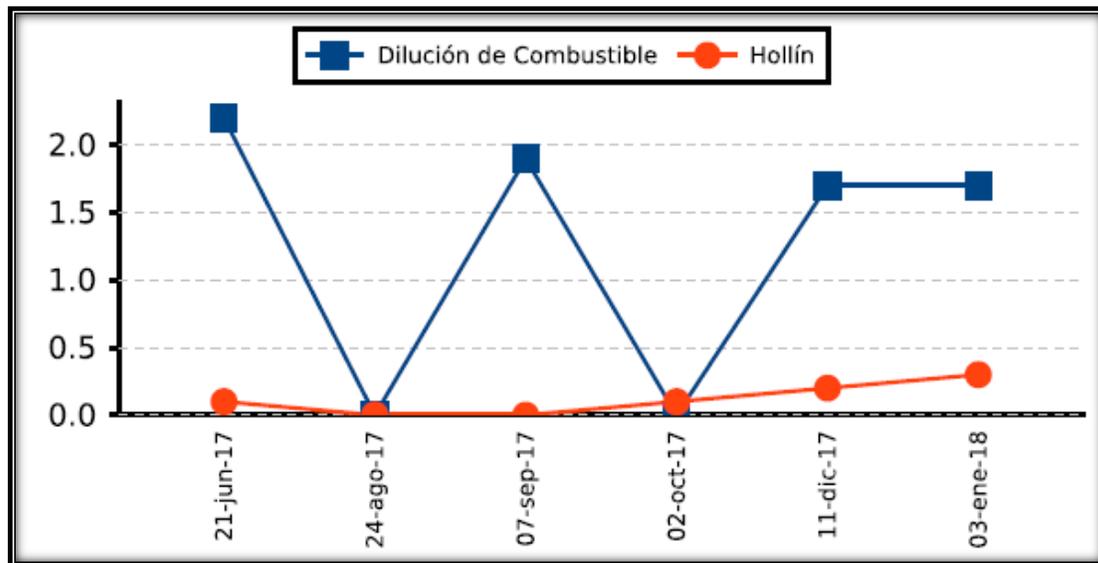
Venegas y Navarrete (s.f.) exponen que: “Se mide así el porcentaje de elementos volátiles en el aceite, que se presume corresponden a la contaminación por combustible que pasa al carter o que se introduce por mala combustión.” (p. 4). Este análisis indica restos de material combustible en el sistema, lo cual afecta la viscosidad del fluido térmico.

Saldivia (2013) indica que: “En la medida que aumenta el contenido de combustible, sin exceder el máximo permisible (5 %) en las muestras de aceite en función de las horas de trabajo, se presenta una disminución en la viscosidad que está por debajo del valor mínimo permisible 12,66 cSt. (p. 8), esto respecto a los parámetros normales con los que cuenta el fluido dependiendo del ambiente por donde circule.

Este análisis se mide respecto a los elementos volátiles en el aceite o fluido térmico y que se estima pueda llegar a tener restos que lo contaminen, como por ejemplo hollín, el cual se debe a una mala combustión, lo cual sucede en motores de combustión interna. Esto no afectará el sistema en evaluación dado que en el equipo de transferencia térmica el fluido térmico no tiene contacto con partes de combustión.

En la figura 3 se observa el porcentaje de dilución de combustible y porcentaje de hollín de los diversos muestreos por fecha en que se realizaron, notando que se encuentra en el límite permisible (menor a 5 %).

Figura 3. **Dilución por combustible y hollín vs horas de operación**



Fuente: Laboratories Polaris. (2018). *Combustible y hollín versus horas*.

7.2.6. Viscosidad

Es una prueba de análisis que ayuda a determinar si el aceite ha variado su viscosidad para realizar efectivamente la transferencia térmica que se espera, característica principal de este tipo de aceites.

Venegas y Navarrete (s.f.) indican que: “Es el principal parámetro que se mide al analizar aceites en laboratorio y se considera el principal indicador de desempeño del mismo” (p. 3). Esto es importante, ya que esta característica

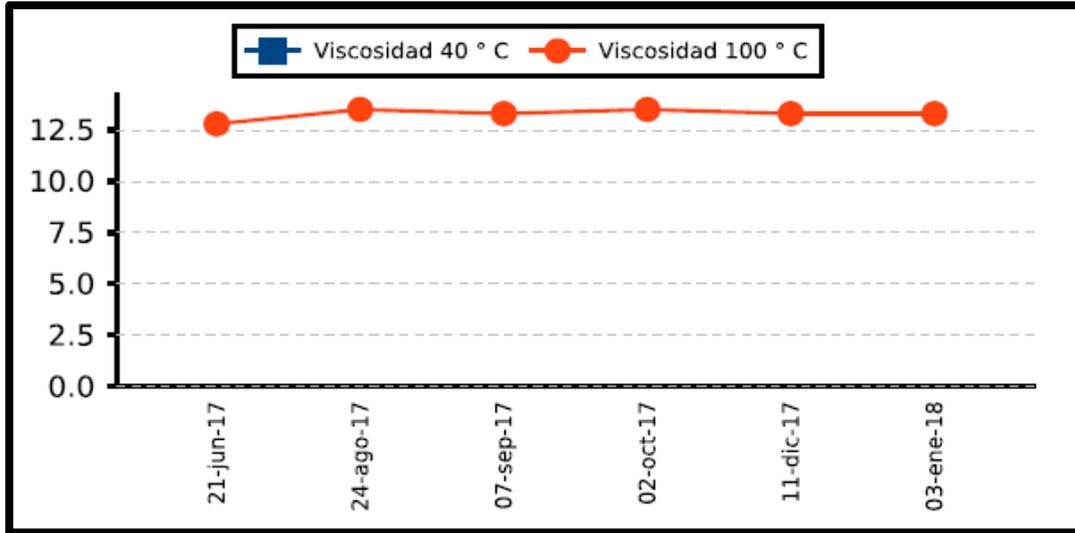
mide el efecto que el aceite tendrá en el funcionamiento del equipo, en comparación a los valores técnicos de la ficha del producto o fluido térmico.

Como lo menciona Castellanos (2014), “La viscosidad es una propiedad de los lubricantes que depende de la temperatura.” (p. 34), caso clave en los fluidos térmicos, los cuales poseen un rango más elevado de variación de temperatura. Como indica Cárdenas Mirón (2004), “Un resultado anormal indica que el aceite no puede realizar su trabajo efectivamente y que algún defecto operacional o de mantenimiento existe y debe ser corregido” (p. 62).

El aceite debe tener las condiciones mínimas de operación como lo menciona la ficha técnica del producto utilizado, es uno de los parámetros principales a analizar, para que este se encuentre en su temperatura real de operación y no afecte la transferencia térmica que se requiere que aporte al sistema. En los aceites térmicos la buena característica de viscosidad versus la temperatura son parte fundamental en la eficiencia de la transferencia de calor.

Como ejemplo se muestra la figura 4, en la cual se nota la viscosidad a 100 °C dentro del límite permisible permaneciendo constante en los muestreos.

Figura 4. **Prueba de viscosidad y metales de desgaste vs hora de operación**



Fuente: Laboratories Polaries. (2018). *Viscosidad y metales versus horas*.

7.2.7. Total de sólidos

Como dice Cárdenas Mirón (2004), “La cantidad de sólidos o materiales insolubles es un buen indicador general del nivel de contaminación del lubricante” (p. 66). Cualquier residuo de materia sólida presente en el aceite producto de una combustión, oxidación del material por donde este circula, o cualquier otro tipo de desgaste o contaminante, da un parámetro de porcentaje de peso o volumen extra al valor normal, por lo que es muy importante, ya que puede existir algún desprendimiento de materia externa, esta es muy similar a la prueba de partícula de desgaste. En general para este parámetro Cárdenas Mirón (2004) indica que: “A una cantidad más grande de sólidos, un nivel de contaminación más alto” (p. 66).

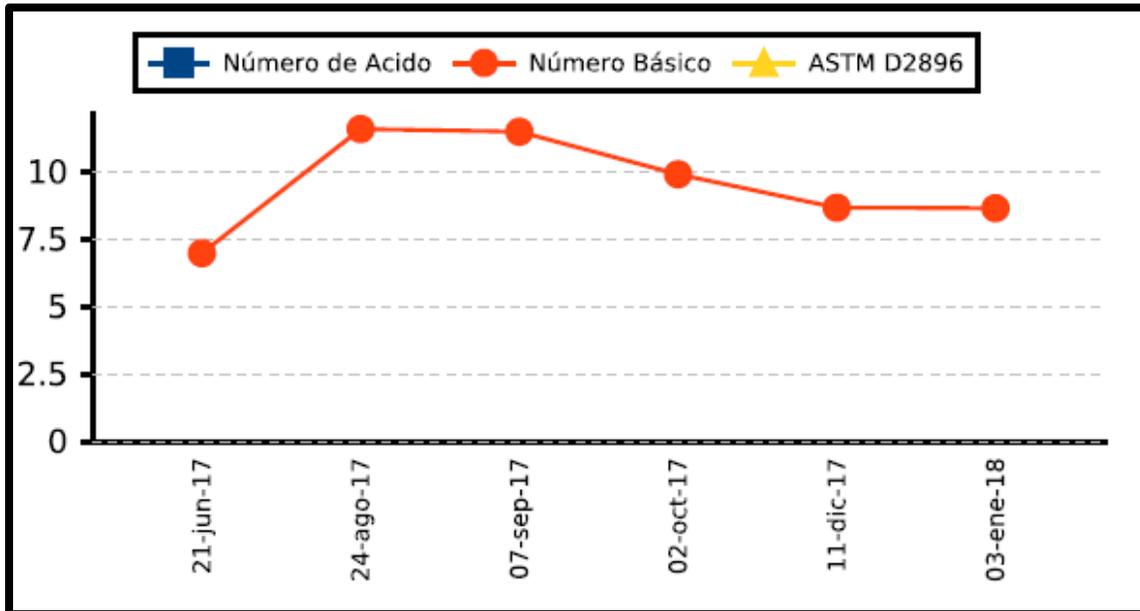
7.2.8. Número Base Total (TBN)

Es una característica básica que debe cumplir el aceite logrando una capacidad de limpieza o función detergente contra los diversos ácidos generados por el material por donde circula y otra acumulación. Como indican Venegas y Navarrete (s.f.), “Es la habilidad de neutralizar los productos ácidos de la combustión tales como el ácido sulfúrico, que se forman por la mezcla y reacción del azufre contenido en el combustible” (p. 3).

Este análisis es muy importante si lo que se quiere es determinar el intervalo de cambio correcto, lo cual en el presente análisis es muy importante para el aceite térmico, dado que un buen nivel de basicidad da un parámetro de la capacidad alcalina del lubricante, con su capacidad detergente.

En ciertos equipos mecánicos Castellanos (2014) hace sobresalir que: “Un TBN relativamente alto es asociado con una mejor protección contra la corrosión” (p. 62), como se observa en la figura 5, la cual muestra la distribución de valores de TBN en miligramos de hidróxido de potasio por gramo de aceite usado (mg KOH/g) para las diversas muestras por fecha, en lo cual se ve que la basicidad se mantiene constante y alejada del parámetro permitido que es 6 según lo mostrado, con lo cual se ve que se mantiene la reserva alcalina del aceite lubricante a través del tiempo, manteniendo sus capacidades detergentes.

Figura 5. Valores obtenidos de basicidad



Fuente: Laboratorios Polaries. (2018). *Valores de basicidad*.

7.2.9. Número Total de Acidez (TAN)

Este parámetro es muy importante, ya que indica la capacidad que tiene el aceite respecto a la oxidación del ambiente o sistema donde se encuentre, es la capacidad del lubricante para neutralizar los ácidos generados por el serpentín u otra fuente externa. Venegas y Navarrete (s.f.) expresan que: “TAN, representa la acidez total, y corresponde a los ácidos orgánicos que se forman” (p. 2). Esto en operación y debido a las condiciones por donde determinado aceite circule. Esta medida es expresada en la cantidad de hidróxido de potasio requerido para neutralización (mg KOH/g), lo cual da el Número Total de Acidez (TAN). Es importante monitorear este parámetro respecto a los parámetros dados por el fabricante, ya que puede ayudar a prever que el lubricante no esté contaminado y pierda su capacidad de transferencia de calor.

Cárdenas Mirón (2004) expresa que: “Acidez indica la extensión de la oxidación de un lubricante y el índice indica la capacidad que tiene el lubricante de neutralizar estos ácidos provenientes de fuentes externas, tales como los gases de combustión” (p. 67), lo cual es importante analizarlo en el ambiente por donde circula, el cual, al no ser controlado, puede ir degradando el fluido térmico.

Por su parte, Castellanos (2014) indica que: “Es la cantidad de ácido y sus derivados en el lubricante, sirve como indicador de la utilidad del aceite” (p. 62), lo cual muestra que es un parámetro clave para determinar si el aceite cumple los requerimientos de uso en el equipo.

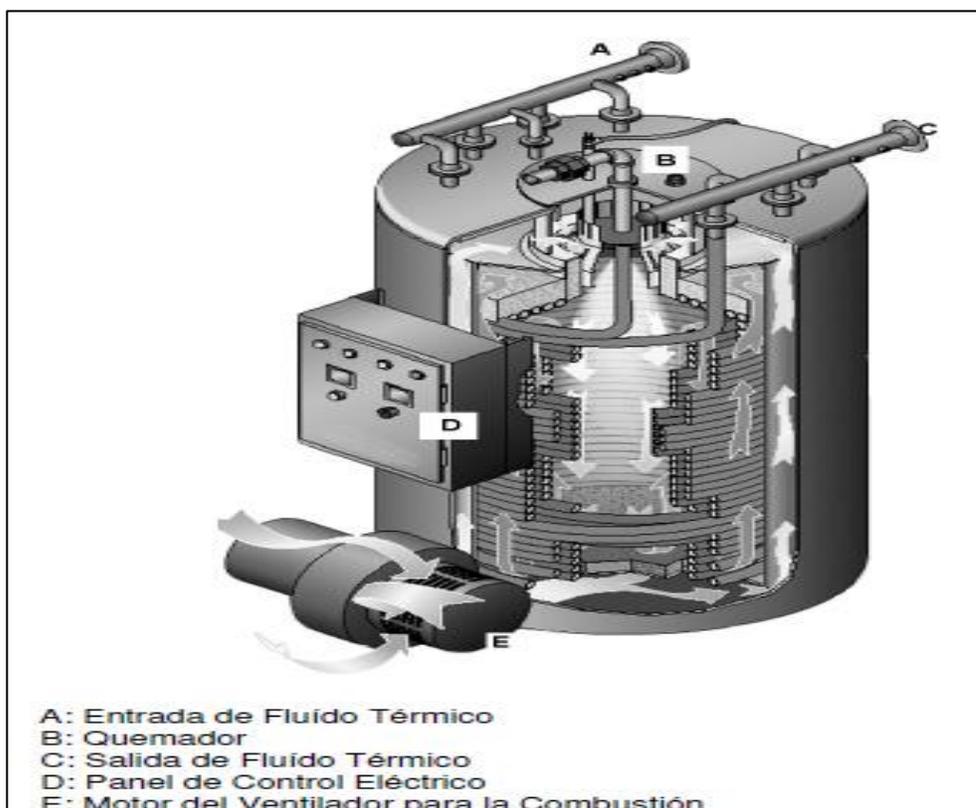
7.3. Sistema de transferencia de calor utilizando aceite térmico

Los equipos de transferencia térmica o calentadores de fluido térmico son calentadores tipo serpentín, en los cuales en vez de utilizar agua como medio de transferencia se utiliza aceite térmico con determinadas características. Como indica Mendoza Sandoval (2009), “Es el diseño de calentador más utilizado. La fuente de calor en calentadores son los hidrocarburos, pudiendo ser GLP, Gas Natural, Búnker y Diésel” (p. 9).

El aceite térmico circula en el serpentín y a su vez es calentado por un quemador, el cual da una llama que fluye por el centro de este serpentín y choca con un material refractario colocado en el fondo del calentador. Luego el serpentín es distribuido a una red de usuarios, que en este caso de evaluación sería un depósito con alcohol tipo cabezas y colas, que sería el usuario final del serpentín, para luego evaporar líquido combustible y ser utilizado en la planta de alimentos.

La figura 6 se muestra el principio de funcionamiento del equipo de transferencia térmica:

Figura 6. **Equipo de transferencia térmica con serpentín**



Fuente: Mendoza Sandoval, R. A. (2009). *Guía de utilización del aceite térmico en un sistema de transferencia de calor.*

7.3.1. **Especificaciones generales del sistema**

Las especificaciones generales del equipo son las siguientes, según especificaciones descritas frente al equipo:

- Controlado por microcomputador programable para operación de encendido y apagado automático, de fabricante reconocido mundialmente.
- El microcomputador conectado a interfaz visual al tacto, para ver en tiempo real temperaturas de encendido, escala de temperaturas de los diferentes fluidos, motores y bombas, temperatura salida de cámara de fuego, cámara de vapor de alcohol y temperatura de salida de aceite térmico de circulación.
- Quemador *blue angel* con operación tiro forzado con motor eléctrico para una combustión eficiente y potencia de calor hacia el serpentín del aceite térmico, está controlado por el computador en sus funciones de encendido y apagado.
- Facilidad de uso, solo se debe tocar la pantalla interfaz hombre-máquina para el inicio del proceso completamente a distancia con registro de horas de uso.
- La interfaz permite observar en una o varias pantallas, solo con un toque, las presiones óptimas, las temperaturas deseadas y también si se presenta alguna falla o anomalía también será vista y corregida inmediatamente por el usuario del sistema.
- El usuario tiene que tocar un botón y todas las funciones en pantalla estarán activadas para encender, calentador de aceite térmico, caldera de vapor de alcohol, bomba de suministro interno de alcohol, quemador del calentador de aceite, electroválvulas de paso de retornos de

condensado, electroválvulas de paso de vapor de alcohol hacia las cubas.

- Posee un módulo de ignición por cada cuba para un encendido automático, con led visuales y detector de falla de flama para corte de chispa, lo cual hace muy seguro este paso de la operación.

Para la configuración del equipo de transferencia térmica, con su parámetro técnico, se toma en cuenta:

- Quemador con ventilador eléctrico 120 VA para calentador de aceite térmico de 400 mil btu., conectado al controlador PLC para paros y arranques automáticos.
- Cámara de fuero y serpentín para calentar aceite de transferencia térmica construida en acero al carbón y protegido por una chaqueta térmica para conservación térmica, tiene control de temperatura con salida al PLC.
- Bomba de circulación de aceite con motor eléctrico 0,75 HP 120 VA 60 Hz de una 1 fase, con sello de cerámica y carbono dentro de carcasa de acero fundido.
- Bomba de suministro de abastecimiento de producto fresco tipo cabezas y colas con motor eléctrico de 1HP 120 VA 60 Hz de 1 fase.
- Depósito de expansión en recipiente metálico para fluido de transferencia térmica con capacidad de 25 galones y cámara de aireación y salida por

respiraderos hacia la atmósfera, esto asegura el equipo en caso de recalentamiento o sobrepresiones de vapor del térmico.

- Circuito cerrado de líneas de conducción de vapor de alcohol en tubos de acero al carbón grado 80 ASTM, sin costura, con válvulas eléctricas NC y con bobinas de 120 VA 60HZ 1FASE.

7.3.2. Instalación

El equipo se encuentra actualmente en una casa de caldera construida para albergar equipos y mantenerlos a una distancia sensata de los edificios y lejanos de chispas de los quemadores de la cocina industrial y también de cables eléctricos. El lugar donde funciona este equipo es un área restringida y solo puede ingresar personal autorizado, para labores de mantenimiento.

La casa se encuentra ventilada y protegida del medio ambiente y también está alejada del tanque de abastecimiento de alcohol líquido inflamable, a 15 metros de distancia de los respiraderos del tanque en donde sale vapor del producto almacenado. Adicional a esto cuenta con su respectiva señalización.

7.3.3. Mantenimientos aplicados

- El mantenimiento es preventivo de inspección V.O.S.O., lo cual incluye Ver, Oír, Sentir y Olfatear el equipo superficialmente.
- El mantenimiento diario que aplica el personal de planta es revisar tanque de almacenamiento y sus componentes: cuarto de caldera completo, quemadores de cubas, módulos de ignición, quemador del calentador térmico, bombas de abastecimiento de producto fresco, panel eléctrico, revisión de si no tienen fugas por pura inspección.

- Semanalmente se revisa si hay desgaste en los quemadores.
- Mensualmente se realiza limpieza de desechos y residuos dentro del cuarto destinado para el equipo, el cual es muy sencillo.

Al observar el mantenimiento que se aplica constantemente no se observa un mantenimiento muy técnico. La técnica de análisis de aceite es un ensayo no destructivo que ayuda a mejorar e identificar fallas en el sistema por donde este circula.

En el uso de este equipo se ha identificado fallas que pueden tratarse de manera anticipada, como por ejemplo pruebas de fugas en el serpentín o estimar el desgaste de este en uso, como se puede ver en la figura siguiente, que es de un equipo similar en un reporte de mantenimiento:

Figura 7. **Mantenimiento a serpentín**



Fuente: elaboración propia.

7.3.4. Fundamentos teóricos del proceso de transferencia de calor en el equipo de transferencia térmica

Es muy importante conocer el proceso de transferencia de calor que el sistema necesita para comprender y tomar en cuenta los fenómenos que se está evaluando, para así apoyar con un mantenimiento adecuado para el sistema.

7.3.4.1. Transferencia de calor y termodinámica

Briso Medina (2006) indica que: “La transferencia de calor en ingeniería se ocupa del cálculo de la velocidad a la que el calor fluye en un medio dado, a través de una interfaz o entre dos superficies, así como de la determinación de las temperaturas asociadas” (p. 17). Este es el fenómeno que se tiene en el caso de evaluación del fluido térmico en contacto con el serpentín y la transferencia de calor que sucede en el equipo, definiéndose a través de lo siguiente la variación de la energía interna dentro del sistema, que es igual a la suma del calor transferido hacia el interior del sistema y el calor generado dentro del sistema.

$$\Delta U = Q \Delta t + Q \nu \Delta t \quad \text{Principio de conservación de energía}$$

[Ec. 1]

Donde:

ΔU = variación de energía interna dentro del sistema

$Q \Delta t$ = calor transferido hacia el interior del sistema

$Q \nu \Delta t$ = calor generado dentro del sistema

7.3.4.2. Modos de transferencia de calor

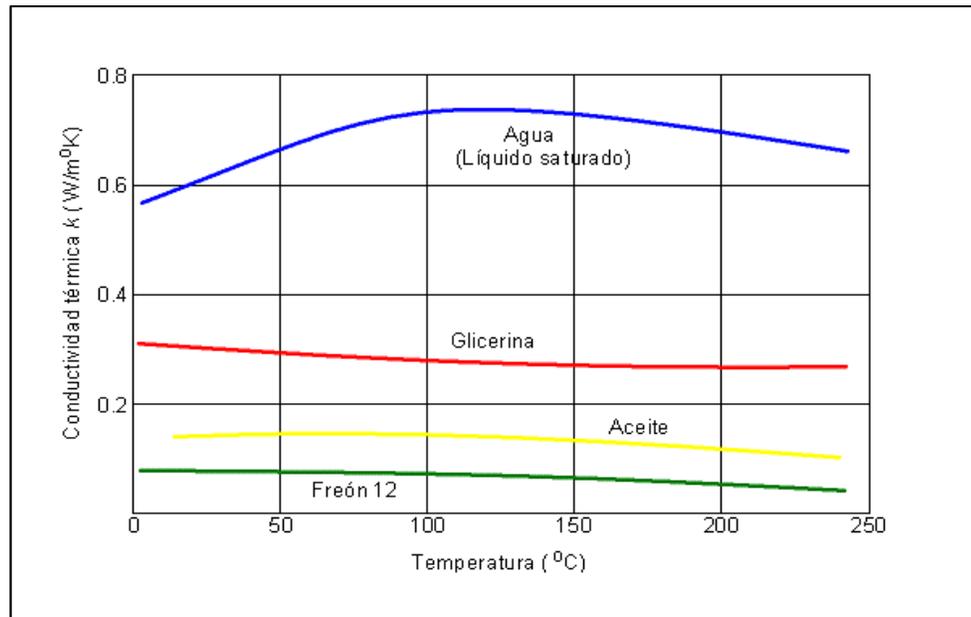
Para conocer de qué manera actúan los aceites térmicos es necesario conocer los modos de transferencia en que estos ejercen su papel en el equipo y los factores que influyen en el buen funcionamiento.

- **Conducción**

Briso Medina (2006) expone que la conducción del calor se puede producir a nivel microscópico en donde los mecanismos físicos de la conducción son complicados; abarcan fenómenos tan variados como las colisiones moleculares en los gases, las vibraciones de las redes de los cristales y el flujo de electrones libres en los metales. Sin embargo, a nivel macroscópico la conducción del calor puede ser regida por leyes fenomenológicas, las cuales son utilizadas para realizar estudios en ingeniería (p.19).

Este principio permite comprender que el calor se transmite de un objeto caliente a uno frío, en donde la conducción se puede medir por el coeficiente de conductividad térmica (k), aspecto principal a considerar como característica en un aceite térmico, como se observa en la siguiente figura:

Figura 8. **Variación de conductividad térmica con la temperatura de líquidos**



Fuente: Briso Medina, D. F. (2006). *Análisis de ingeniería a un sistema de calefacción mediante aceite térmico.*

- Radiación

Briso Medina (2006) indica que la transferencia de calor por radiación es la cantidad de energía que emite una superficie como calor radiante, dependiendo de la temperatura absoluta y de la naturaleza de la superficie. Además toda materia y espacio contienen radiación electromagnética. La partícula de energía electromagnética es el fotón, y la transferencia de calor por radiación puede considerarse tanto en función de ondas electromagnéticas como en función de fotones. (p. 24). De esta manera se puede indicar que también la radiación tiene como

medición un coeficiente, que es el coeficiente de transferencia de calor por radiación.

- Convección

Este término ayuda a definir la transferencia de calor de una superficie con un flujo en movimiento como el que sucede en el serpentín. Se define que la conducción se diferencia de la convección, ya que en la primera no hay transporte de materia.

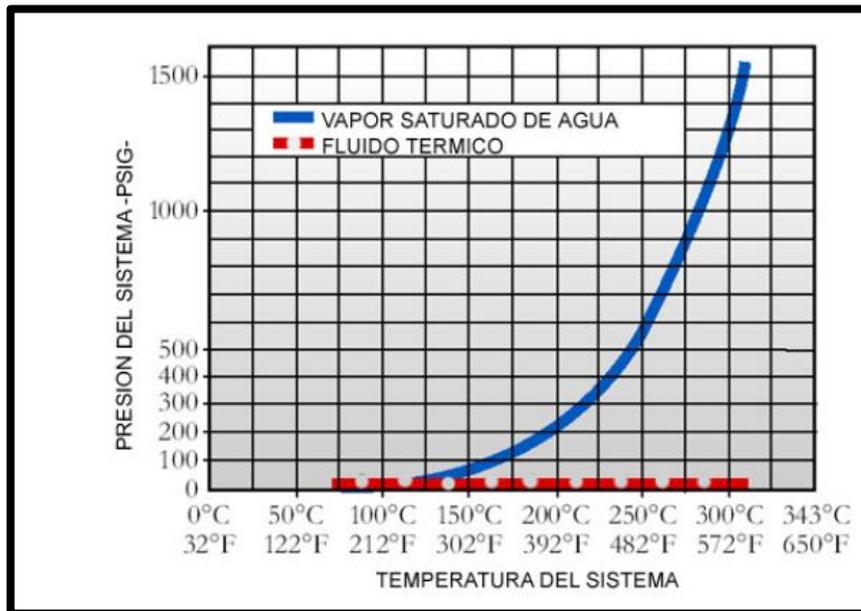
7.3.4.3. Ventajas de un sistema de fluido térmico

El fluido térmico o aceite térmico ofrece muchas ventajas adicionales a trabajar con vapor y agua caliente como medio de transferencia térmica, debido a que ofrece una mejor seguridad operacional dado al monitoreo de las presiones de trabajo. Además de ofrecer, por ser circuitos cerrados, una mejor transferencia de calor, lo cual favorece a que no haya pérdidas de éste. Las principales ventajas de trabajar con fluidos térmicos son:

- Bajo nivel de corrosión, debido a ser circuitos cerrados no tienen mayor contacto con el ambiente, evitando la oxigenación. Debe ser seleccionado adecuadamente, que es lo que se pretende con el análisis de aceite, pues este no se congela.
- Baja presión de operación, al trabajar comúnmente con vapor de agua e incrementar la temperatura del agua se genera más presión, lo cual puede generar un efecto indeseable. Con el fluido térmico las temperaturas alcanzadas son bajas y con un rango de temperatura

elevado, al contar con una bomba de recirculación, como se observa en la figura 9.

Figura 9. **Curva de presión/temperatura. Vapor saturado de agua vrs. fluido térmico**



Fuente: Mendoza Sandoval, R. A. (2009). *Guía de utilización del aceite térmico en un sistema de transferencia de calor.*

- Sistema más eficiente, pues el aceite térmico no contiene sólidos que puedan precipitarse, por lo que no hay riesgo de purgar el equipo.
- Control de temperatura, este es más exacto debido a que según la ficha técnica el fluido térmico tiene un rango que debe cumplir para el trabajo, por lo que es más preciso.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Mantenimiento

- 1.1.1. Qué es mantenimiento
- 1.1.2. Mantenimiento proactivo
- 1.1.3. Tipos de mantenimiento
- 1.1.4. Técnicas de mantenimiento

1.2. Análisis de aceite

- 1.2.1. Qué es un análisis de aceite
- 1.2.2. Variables fisicoquímicas para un análisis de aceite
- 1.2.3. Partículas de desgaste
- 1.2.4. Dilución por agua
- 1.2.5. Dilución por combustible
- 1.2.6. Viscosidad
- 1.2.7. Total de sólidos

1.2.8. Número Básico Total

1.2.9. Número de Acidez Total

1.3. Sistema de transferencia de calor utilizando aceite térmico

1.3.1. Especificaciones generales del sistema

1.3.2. Instalación

1.3.3. Mantenimientos aplicados

1.3.4. Fundamentos teóricos del proceso de transferencia de calor en el equipo de transferencia térmica

2. DESARROLLO DE LA EJECUCIÓN DEL ESTUDIO

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

El objetivo de esta investigación se centra en analizar de forma sistemática, ordenada y planificada la información y variables definidas previamente en los diversos análisis de aceites que se realizarán al fluido térmico.

Se centrará la investigación en la degradación que el aceite sufre conforme al uso dentro del serpentín y la evolución que sufren las diferentes propiedades fisicoquímicas que este debe mantener para su buen efecto de transferencia de calor.

9.1. Ubicación de la investigación

La investigación se realizará en las instalaciones de un ingenio azucarero, específicamente en la planta industrial de alimentos, dicha industria se encuentra ubicada en la costa sur, en el departamento de Escuintla.

9.2. Tipo de enfoque

En la presente investigación y trabajo de campo se proyecta realizar una mezcla de características cualitativas y cuantitativas, por lo que el enfoque es mixto y se apoyará en la observación directa del equipo y área, investigación documental, experiencias de los colaboradores al utilizar el equipo, así como en variables numéricas que afectan y muestran estadísticamente estados del equipo en evaluación.

9.3. Tipo de investigación

El trabajo de investigación tendrá un alcance de tipo descriptivo y correlacional. Descriptivo, porque con base en los resultados obtenidos de los análisis realizados se establecerán parámetros de mejora y se podrá obtener a través de las mediciones parámetros claros para optimizar el uso del aceite. Correlacional, porque con base en las variables medidas se establecen hipótesis, las cuales, al someterlas a pruebas, pueden ayudar a optimizar el uso de los recursos y plantear un mantenimiento para el equipo en estudio.

9.4. Unidades de análisis

En el enfoque que se le está dando al análisis de aceite para estudiar el comportamiento de este en el serpentín del equipo de transferencia térmica las variables en análisis serían las siguientes:

- Variables de la contaminación del aceite
 - Partículas de desgaste por ferrografía o espectrométrico
 - Análisis por dilución por agua
 - Análisis por dilución por combustible

- Variables fisicoquímicas del aceite
 - Viscosidad
 - Total de sólidos
 - Número Base Total (TBN)
 - Número Total de Acidez (TAN)

9.5. Fuentes de investigación

Las fuentes de investigación que se utilizarán en el presente estudio serán clasificadas como primarias y secundarias, siendo las primarias las que proporcione la empresa y el área que utiliza el equipo, así como las entrevistas al personal. Las secundarias serán las que se obtengan de fuentes de consulta bibliográfica tales como libros, tesis, informes y revistas relevantes relacionadas al estudio en ejecución.

9.6. Descripción de fases

La metodología utilizada en el presente trabajo de investigación se basará principalmente en el aceite térmico utilizado en el serpentín por donde este circula y se estructurará en dos etapas principales.

La primera se realizará recabando información referente al equipo de transferencia térmica, documentación que haya sido entregada por el fabricante, así como entrevistas en grupo en el área laboral al personal que tiene a su cargo dicho equipo, para tomar en cuenta sus observaciones; también se buscará información respecto a las reparaciones y mantenimientos realizados (bitácoras de mantenimiento, si existiesen).

La segunda etapa consistirá en realizar los muestreos para el análisis de aceite térmico usado, así como en interpretar y analizar dichos resultados respecto a las variables definidas, presentando en esta última fase un modelo proactivo de mantenimiento del equipo. A continuación se describen:

- Etapa uno. Primera fase

En esta fase se visitará la planta de alimentos, lugar donde se encuentra instalado el equipo de transferencia térmica, y se solicitará la documentación técnica del equipo, bitácoras de mantenimiento y ficha técnica del último aceite térmico utilizado en ese momento.

- Segunda fase

En esta fase se entrevistará al personal técnico operativo del área de la planta de alimentos, entrevista que será grabada en audio, previamente a ser autorizada y avalada por el jefe de la planta, con el objetivo de conocer sobre los aspectos de uso del equipo, detalles de operación y los tipos de mantenimientos y problemas que este ha presentado en el área donde circula el aceite térmico, específicamente el serpentín. En esta fase se utilizará la técnica de la entrevista grupal.

- Etapa dos. Tercera fase

En esta fase se realizará la toma de muestras de aceite térmico por donde circula este, se tiene estimado realizarlo durante un período de 6 meses (de abril a septiembre), que es tiempo de zafra, abril, mayo y el resto de reparación en que de igual forma se tiene en uso el equipo, tomando una muestra mensual, con un intervalo de 4 semanas. Durante esta época la planta de alimentos trabaja ininterrumpidamente, este intervalo de tiempo o frecuencia dependerá también de lo recomendado por el laboratorio luego del primer análisis. En esta fase se utilizará la técnica de observación asistida con el apoyo del laboratorio donde se realizará el análisis del aceite térmico.

- Cuarta fase

En esta fase se analizarán e interpretarán los resultados obtenidos a través del análisis de aceite realizado en el laboratorio durante 6 meses, con intervalo de 4 semanas, determinando los parámetros de desgaste del serpentín, así como la degradación que sufre el aceite térmico, para así determinar nuevos períodos de cambio de aceite y probables mejoras al área por donde este circula, con el objetivo de ir analizando un modelo de mantenimiento proactivo del equipo. En esta fase la técnica utilizada es la interpretación de resultados obtenidos, en los cuales se evidenciarán los indicadores o variables para obtener un mantenimiento del equipo.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Los datos obtenidos de los respectivos análisis de aceites realizados periódicamente una vez al mes durante seis meses serán ordenados por tipo de resultado, según las siguientes variables o las que recomiende el laboratorio escogido:

- Partículas de desgaste por ferrografía o espectrométrico
- Análisis por dilución por agua
- Análisis por dilución por combustible
- Viscosidad
- Total de sólidos
- Número Base Total (TBN)
- Número Total de Acidez (TAN)

Se ordenarán los resultados en tablas, comparando con parámetros técnicos estándar que el aceite térmico deba contener para su uso con relación a los parámetros que arroje el análisis de aceite, para luego realizar un análisis estadístico de esta tabulación.

El análisis estadístico utilizado se basará en evaluar y graficar la evolución de los resultados que muestren las distintas variables investigadas, pudiendo notar los cambios que el aceite muestre con la evolución del tiempo, tomando en cuenta las propiedades fisicoquímicas de este fluido térmico.

Durante este tiempo también se estará monitoreando variables cualitativas realizadas a través de investigación y entrevista con el operario, para notar los cambios que el equipo presenta durante la evaluación de pruebas.

El análisis estadístico se realizará haciéndose una comparación entre la media de las muestras múltiples con los valores de TBN, viscosidad, etc., del aceite térmico durante el período de trabajo y evaluación, para luego ser evaluados según los datos técnicos del fabricante. Esto se realizara a través de análisis de correlaciones, análisis de regresión, visualización de datos y el análisis de escenarios, todo esto para ver todos los parámetros y variaciones que muestran las diversas variables de los resultados de los análisis de aceite obtenidos.

Los laboratorios que realizan estos análisis de aceites poseen equipos muy sofisticados con los cuales muestran los grados de degradación, contaminación, reserva de aditivos, etc., esto da una exactitud muy alta, aproximadamente de un 0,0001 % de error según Jiménez (s. f.).

Esencialmente lo primero que se realizará es una comparación de medias de las muestras múltiples y de cada variable, como lo muestra la siguiente tabla:

Tabla II. **Comparación de medias de muestras múltiples de viscosidades**

Prueba de Rango Múltiple			

Método: 95,0 por ciento LSD			
	Cuenta	Media	Grupo Homogeneo

Visc40M1	26	150,759	X
Visc40M5	26	154,212	X
Visc40M3	26	154,269	X
Visc40M2	27	155,274	X
Visc40M4	26	163,192	X

Contraste		Diferencia	Límites +/-

Visc40M1 - Visc40M2		-4,51523	6,58475
Visc40M1 - Visc40M3		-3,51038	6,64658
Visc40M1 - Visc40M4		*-12,4327	6,64658
Visc40M1 - Visc40M5		-3,45308	6,64658
Visc40M2 - Visc40M3		1,00484	6,58475
Visc40M2 - Visc40M4		*-7,91746	6,58475
Visc40M2 - Visc40M5		1,06215	6,58475
Visc40M3 - Visc40M4		*-8,92231	6,64658
Visc40M3 - Visc40M5		0,0573077	6,64658
Visc40M4 - Visc40M5		*8,97962	6,64658
* Denota una diferencia estadísticamente significativa			

Fuente: Jiménez, J. T., (2012). *Comparación de viscosidades*. Recuperado de Researchgate.net.

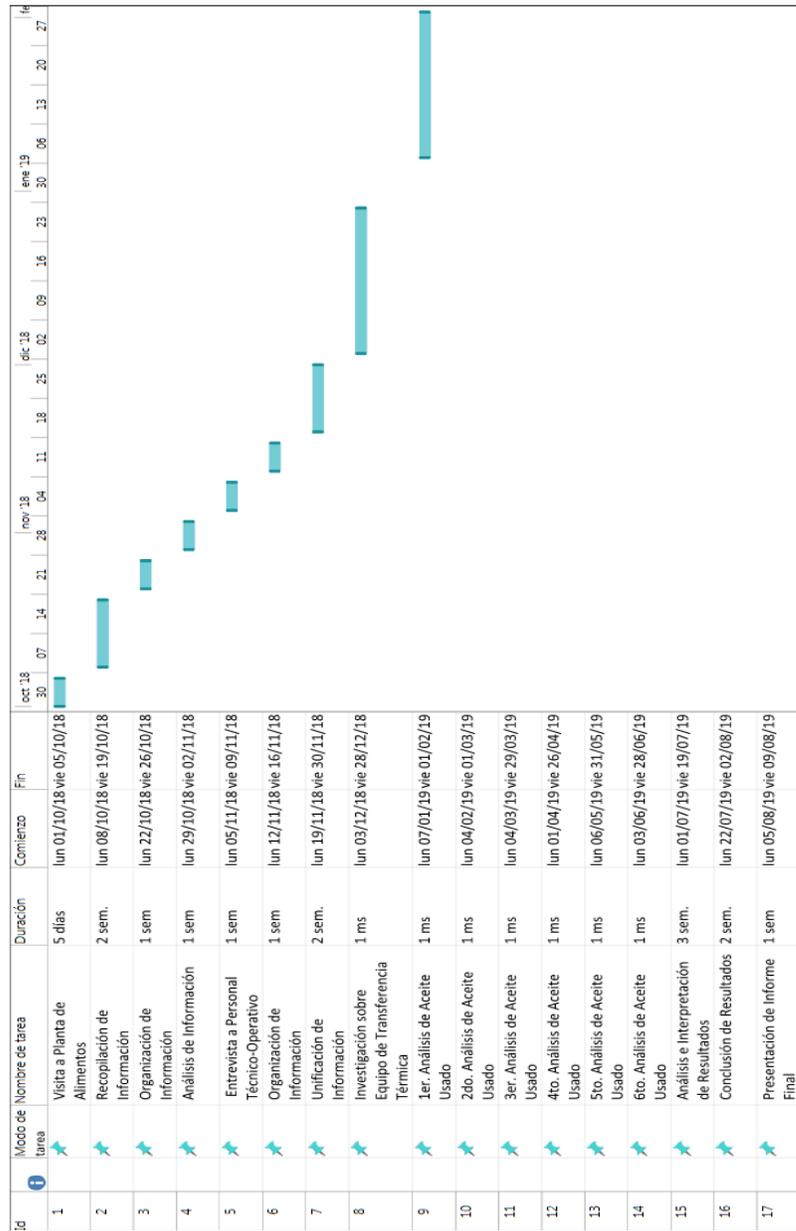
Como se puede observar en la tabla anterior, se muestran los valores arrojados del análisis de aceite con respecto a los valores estándar que el aceite debería presentar, para poder establecerlos en un histograma en el cual

observar las variables conjuntas, así como la evolución del fluido térmico y concluir así sobre el mantenimiento proactivo del equipo.

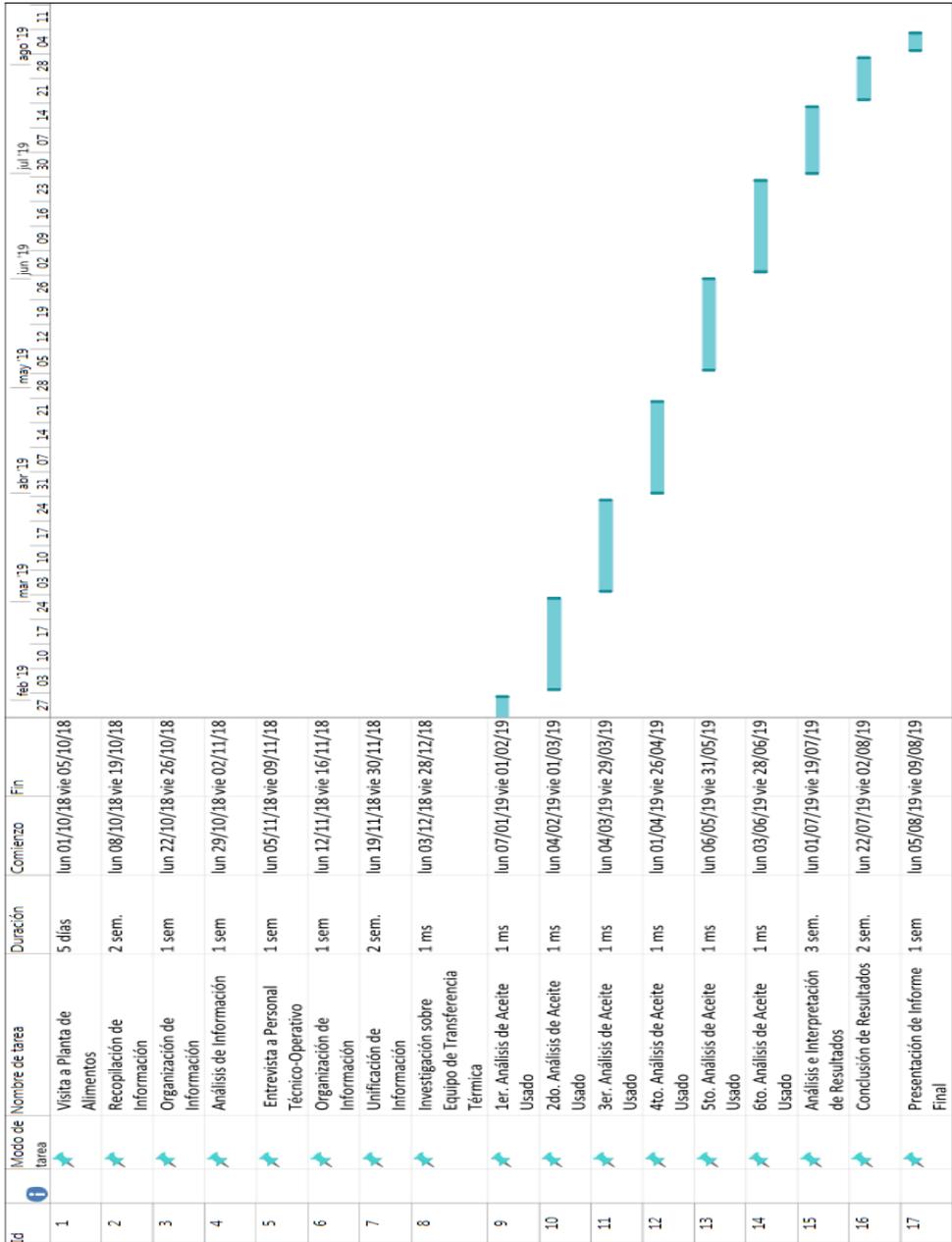
El programa por utilizar básicamente será Microsoft Excel para el análisis gráfico y estadístico de los datos, pudiendo tener como punto de partida las corridas de los respectivos análisis de aceite realizados.

11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Figura 10. Cronograma



Continuación de la figura 10.



Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

12.1. Recuso tecnológico

Los análisis propuestos a realizar con el aceite térmico usado del equipo de transferencia térmica serán realizados por un laboratorio especializado, evaluando entre los proveedores del ingenio la mejor opción para realizarlo, ya que ellos cuentan con este servicio incluido en las negociaciones.

12.2. Recurso humano

El autor del presente documento será el encargado de visitar la planta industrial de alimentos y realizar las etapas para el presente estudio, tales como entrevistas, recopilación de documentación y toma de muestras del aceite térmico, llevándolas al laboratorio para realizar el análisis.

Tabla III. **Recurso financiero**

Núm.	Actividad	Cantidad	Costo Unit.	Costo total
1	Combustible	40 Gl	Q 24,00	Q 960,00
2	Impresiones	1 000 hojas	Q 1,00	Q 1 000,00
3	Análisis de aceite térmico usado	6 análisis	Q 250,00	Q 1 500,00
4	Asesoría	1	Q 2 500,00	Q 2 500,00
			Total	Q 5 960,00

Fuente: elaboración propia.

12.3. Permiso

El estudiante de ingeniería de mantenimiento es trabajador activo del ingenio, teniendo permiso de la planta de alimentos para realizar el estudio de evaluación.

12.4. Recursos disponibles

Para ejecutar la presente investigación se cuenta con el apoyo del personal técnico operativo de la planta industrial de alimentos que monitorea y manipula el equipo de transferencia térmica, así como del estudiante con cierre de pénsum de Ingeniería Química y estudiante de la Maestría de Ingeniería de Mantenimiento. Se utilizará un recipiente para toma de muestras, el cual será proporcionado por el laboratorio encargado de realizar los análisis de aceite.

Teniendo en cuenta los recursos, entre otros aspectos, es factible realizar el presente estudio.

13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aguilar, M. A.; Godoy, A. S.; Gómez, N. F. (2001). *Clasificación de un aceite lubricante a través de sus parámetros característicos*. Argentina: Universidad Nacional del Nordeste.
2. Altmann, C. (2005). *El análisis de aceite como herramienta del mantenimiento proactivo en flotas de maquinaria pesada. 1er Congreso Uruguayo de Mantenimiento, gestión de activos y confiabilidad*. Uruguay: Consorcio Ambiental del Plata - Teyma.
3. Amsler, J. A. (s.f.). *Los ensayos no destructivos en la Argentina*. Recuperado de: http://www.aaiq.org.ar/SCongresos/formCrCongreso/FormVerDetalle.php?id_banda=80&id_sala=105&id_congreso=4&dia=25_lunes&idioma=ingles&email=nc&serial=NO.
4. Aponte, B.; Fernández, M.; De Rincón, O.; Arias, S.; Contreras, M.; Ramos, J.; Collantes, R. (2008). *Corrosion costs in preventive and corrective maintenance in equipment and facilities in industry*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/228775470_Corrosion_costs_in_preventive_and_corrective_maintenance_in_equipment_and_facilities_in_industry.
5. Briso Medina, D. F. (2006). *Análisis de ingeniería a un sistema de calefacción mediante aceite térmico*. Chile: Universidad Austral de Chile.

6. Cárdenas Mirón, J. C. (2004). *Mantenimiento predictivo basado en el análisis de aceite para una flotilla de camiones de Cervecería Centroamericana*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
7. Castellanos, A. R. (2014). *Análisis de aceite como propuesta para la implementación de mantenimiento predictivo en el departamento de taller agrícola y automotriz de la compañía agrícola industrial Ingenio Palo Gordo, S.A.* Guatemala: Universidad de San Carlos.
8. Chang, R. (2002). *Química*. Mexico: McGraw-Hill.
9. Cornú Barrón, E. F.; Del Río Vegagil, M. C.; Escobedo, E. G.; Guerrero Quiroz, F.; Morales Mungía, D. (2010). *Propuesta de un programa de mantenimiento preventivo para la empresa Moraly*. México: Instituto Politécnico Nacional.
10. Guillén Fernández, L. F. (2007). *Estudio especial de graduación: Procedimiento para el análisis de muestras de aceite usado en la agroindustria*. (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala.
11. Jiménez, J. T. (2012). *Researchgate.net*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/282159827_Analisis_estadistico_comparativo_de_propiedades_de_aceites_lubricantes_usados_en_motores_de_combustion_interna_de_una_planta_de_generacion_electrica.

13. Mendoza Sandoval, R. A. (2009). *Guía de utilización del aceite térmico en un sistema de transferencia de calor*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
14. Mora Gutiérrez, A. (2009). *Mantenimiento, planeación, ejecución y control*. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A.
15. Saldivia, F. (2013). *Aplicación de mantenimiento predictivo. Caso de estudio: análisis de aceite usado en un motor de combustión interna*. Eleventh LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2013).
16. Salgado, S. F.; Rico, J. S.; Contreras, G. M. (2009). *Matenimiento predictivo de motores mediante el análisis de aceite*. Colombia: Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada.
17. Sarti, R. A. (2009). *Propuesta de ensayos, equipos y evaluaciones en lubricantes para el laboratorio de diseño de máquinas 3*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
19. Trujillo Mejía, R. F. (2010). *Hidrocarburos: manejo seguro*. Bogotá: Eco Ediciones.
20. Venegas, C. C.; Navarrete, I. J. *Comparativas de viscosidad*. Recuperado de: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/954/1/1829.pdf>.

21. White, G. (2010). *Introducción al análisis de vibraciones*. Recuperado de: <http://azimadli.com/vibman-spanish/ventajasdelmantenimiento-proactivo.htm>.