



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN ADMINISTRACION INDUSTRIAL

**IMPLANTACION DE UN LABORATORIO DE ANALISIS
DE ACEITES INDUSTRIALES.**

T E S I S

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN ADMINISTRACION INDUSTRIAL**

P R E S E N T A:

MARCELA ERIKA RUIZ GONZALEZ

TUTOR

ENRIQUE ANGELES CISNEROS
Facultad de Química

MÉXICO, D.F.

OCTUBRE, 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Jurado Asignado:

Presidente: M.A. Enrique Ángeles Cisneros

Secretario: Marcos Enríquez Rodríguez

Vocal: M.C. Enrique Barrios Cruz

Vocal: Ing. Eduardo Rojo y de Regil

Vocal Juan Miguel Muñoz

Tutor de Tesis

M.A. Enrique Ángeles Cisneros

AGRADECIMIENTOS

A Dios por brindarme la oportunidad de llevar a cabo otros de los objetivos más importantes de mi vida.

A mis Padres María Luz González de Ruiz y Oscar Ruiz Vallejo sencillamente sin ustedes no sería lo que hoy soy, gracias por continuar siendo parte importante de mi vida, por acompañarme en cada paso que doy y porque aunque no se encuentren físicamente a mi lado sé que siempre permanecen conmigo. Gracias por ser el motor más importante para alcanzar mis metas.

A mi hermana que ha sido el pilar fundamental en mi vida, sin ti simplemente no sería nada de la persona que al día de hoy soy, eres parte de cada capítulo que escribo, gracias por estar a mi lado siempre, por enseñarme que a pesar de todas las adversidades siempre se puede seguir adelante, gracias por educarme, protegerme, cuidarme y sacarme adelante, gracias por ser mi ejemplo de vida pero sobre todo gracias por existir.

A Sebastián, simplemente por ser de las personitas más importantes en mi vida.

A Panke, gracias por haber llegado a mi vida, por estar conmigo en las buenas y en las malas, por permanecer a mi lado todos y cada uno de mis días, por ser la compañía más sincera que puedo tener, “gracias simplemente por ser tú”.

Los amo....

A la Universidad Nacional Autónoma de México y la Facultad de Ingeniería Química honorable institución que ha sido parte fundamental en mi desarrollo profesional y en el aprendizaje de enseñanzas invaluablees.

Al M.A. Enrique Ángeles, tutor del presente trabajo, gracias por su apoyo, conocimiento, confianza y por haberme guiado durante el proceso de aprendizaje de esta maestría, sin usted este trabajo no hubiera sido posible.

A los miembros del Jurado M.A. Miguel Muñoz, M.A. Marcos Enríquez, M.A. Eduardo Rojo y de Regil, gracias por su orientación y apoyo durante este proceso, gracias por su tiempo y aportación al presente trabajo.

A mi amigo, compañero y parte del Jurado M.C. Enrique Barrios, gracias por ser parte de esta etapa, por compartir tan buenos momentos tanto dentro como fuera del trabajo y sobre todo gracias por brindarme tu apoyo en este proceso.

A mis amigos Goyis, Angel, Arce, Gloria, Mayra, Rosa Iris, Sisiyi por su invaluable apoyo y amistad agradezco a Dios por contar con personas tan importantes en mi vida que día a día me siguen demostrando su amistad y apoyo incondicional, sin ustedes, sin sus palabras de aliento, sin su apoyo, sin su presencia nada de esto sería como lo es hoy, gracias por ser parte de mi vida y por permanecer tanto tiempo a mi lado.

Agradezco a Sistemas Centrales De Lubricación S.A. de C.V. y a todos sus miembros que la conforman, por la enseñanza que me dejo formar parte de dicha empresa, agradezco todo el conocimiento adquirido dentro de esta institución, por las experiencias vividas y por la riqueza de aportaciones a mi vida profesional.

INDICE

INTRODUCCION	7
CAPITULO I ANTECEDENTES	
- Fundamentos de la Tribología	11
- La Lubricación	14
- Factores que afectan la lubricación	17
- <i>Tipos de Lubricantes</i>	18
- <i>Clasificación API</i>	20
- <i>Funciones de un lubricante</i>	22
- El análisis de aceite	26
- El Mantenimiento	29
- <i>Objetivos del mantenimiento</i>	29
- <i>Mantenimiento Correctivo</i>	30
- <i>Mantenimiento Predictivo</i>	33
- <i>Mantenimiento Proactivo</i>	34
CAPITULO II PLANTEAMIENTO	36
- Antecedentes	36
- Justificación Técnica	42
- Objetivo General	44
- Objetivos Particulares	44
- Alcances	45
CAPITULO III METODOLOGIA	48
- Investigación de los requerimientos internos	48
- <i>Las tres categorías del análisis de aceite</i>	50
- Planteamiento de la problemática de incidencias de altos costos de logística y operación en el procesamiento de muestras de aceite.	53
- Indicadores de altos costos actuales en un proceso de gestión de muestras con un laboratorio ubicado en el extranjero.	55
CAPITULO IV INVESTIGACION	58

- Modelo General de implantación de un laboratorio para pruebas de paquete básico	58
- Selección de Equipos	65
- Descripción General de los Requerimientos de infraestructura	68
- <i>Infraestructura</i>	69
- Descripción General de los Requerimientos de Instalaciones	71
- <i>Instalaciones</i>	71
- Análisis de costos para el retorno de la Inversión	74
- <i>Estimación de costos</i>	74
- Discusión de la solución de la problemática	79
CAPITULO 5 PLAN DE OPERACIONES	85
- Funciones generales del laboratorio	85
- Prioridades en la Ejecución de Actividades del Laboratorio	87
- Ubicación del laboratorio	88
- Recepción de muestras y ejecución del análisis	89
- Mapa de Flujo del procesamiento de muestras	92
- Localización de Áreas y distribución	93
CAPITULO 6	95
- Análisis de Resultados	95
CONCLUSIONES	98
BIBLIOGRAFIA	101
ANEXOS	107

INTRODUCCION

La aplicación de los lubricantes hoy en día es de suma importancia para el desarrollo de la actividad humana, industrial, de producción y de transformación de materia. En México parte de la actividad potencial del país, es el Petróleo, y la extracción del crudo del subsuelo y sus diferentes derivados, entre ellos los aceites minerales que son producidos por la refinación del crudo. Dichos aceites son utilizados para lubricar la turbomaquinaria utilizada en el mismo proceso del ciclo de derivación del petróleo, en equipos para generación de energía, equipos de producción y transformación de materia y hasta en nuestros autos.

Los lubricantes industriales cumplen un amplio rango de aplicaciones. Los lubricantes que actualmente se emplean son en su gran mayoría de ORIGEN MINERAL y se extraen del petróleo crudo. Antes de conocerse el petróleo se empleaban aceites de ORIGEN ANIMAL (de ballena, cerdo, vacuno, ovino, etc.) Y de ORIGEN VEGETAL (de oliva, maravilla, colza, ricino, etc.)

El poder lubricante de los aceites animales y vegetales es mayor que el de los aceites minerales, pero tienen el grave inconveniente de su poca estabilidad, se oxidan y se descomponen con facilidad produciendo sustancias ácidas que atacan las superficies metálicas. Por este motivo en la lubricación se emplean, de preferencia, los aceites minerales.

La lubricación es básica y necesaria para la operación de casi todas las maquinarias. Sin lubricación, casi todas las maquinarias no funcionan, o si funcionan lo hacen por poco tiempo antes de arruinarse.

Varios estudios hechos en EEUU concluyeron que si la tecnología actual de lubricación fuera accesible a toda la población, se mejoraría el producto bruto interno un 7%.¹

La industria de los lubricantes constantemente mejora y cambia sus productos a medida que los requerimientos de las maquinarias nuevas cambian y nuevos procesos químicos y de destilación son descubiertos. Un conocimiento básico de la tecnología de lubricación te ayudará a elegir los mejores lubricantes para cada necesidad.

La turbomaquinaria y equipos críticos forman parte esencial de cada uno de estos procesos, haciéndolos indispensables en cada una de las plantas donde se encuentran instalados, es por ello que se hace crucial contar con un programa de mantenimiento proactivo y predictivo que permita brindar confiabilidad tanto al equipo crítico como al proceso y a la planta en general.

¹ Prof. Daniel Starc – Ing. Julio A. Rubio Lopez, “Entendiendo la lubricación y los lubricantes” UTN Cordoba 2007.

Dicho proceso de mantenimiento permite prolongar la vida remanente y efectiva de los equipos mediante técnicas específicas tales como; el análisis de vibraciones, termografía y el análisis de aceite, siendo este último el tema principal del presente trabajo.

Teniendo tal la importancia del análisis de aceite en el ámbito industrial y en el área del mantenimiento predictivo de los equipos de proceso, se hace indispensable llevar a cabo la implantación de un laboratorio de análisis de aceite que permita evaluar manera eficiente y eficaz, las condiciones físico químicas de los lubricantes con el fin de detectar fallas específicas en los sistemas de lubricación que brindan protección al equipo crítico. Es importante considerar que mediante estas técnicas de análisis y evaluación podemos detectar fallas catastróficas que mellen la confiabilidad de los equipos y del proceso en su totalidad.²

Hipótesis

El presente trabajo pretende dar solución a la problemática que representa, el hecho de no contar con un laboratorio interno en donde llevar a cabo evaluaciones tribológicas mediante normatividad adecuada a cada método analítico y a un costo bajo.

² Linares Omar. Generalidades de la Tribología Fundamentos de la Lubricación, Fricción y el Desgaste. Santa Cruz, Bolivia. 2009.

Se pretende demostrar que contar con un laboratorio interno proveerá de beneficios tangibles que beneficiaran al desempeño de la empresa tribológica tales como: disminución de costos en el procesamiento de muestras para análisis de aceite dentro de la división de análisis de fluidos, disminución en los tiempos de entrega final al cliente, rapidez en proporcionar solución a clientes que requieran una toma de decisión rápida y oportuna respecto a problemáticas severas en el desempeño de su turbomaquinaria, aumento en la productividad de las divisiones de negocio de purificación y reacondicionamiento de lubricantes, entre otros.

El objetivo general de este proyecto es minimizar los costos operativos y de logística, derivados de llevar a cabo el procesamiento de muestras de aceite para el análisis básico con un laboratorio externo situado en el extranjero, mediante la incorporación a la empresa tribológica de un laboratorio local interno de análisis de aceite que sea capaz y permita el procesamiento de análisis de paquete de pruebas básicas en aceites industriales.

CAPITULO I ANTECEDENTES

Fundamentos de la Tribología

Los documentos históricos muestran el uso de la rueda desde el 3500 A.C., lo cual ilustra el interés de nuestros antepasados por reducir la fricción en movimientos de translación. Los egipcios tenían el conocimiento de la fricción y los lubricantes, esto se aprecia en el transporte de grandes bloques de piedra para la construcción de monumentos y pirámides. Para realizar esta tarea utilizaban agua o grasa animal como lubricante³.

El artista científico renacentista Leonardo Da Vinci fue el primero que postuló un acercamiento a la fricción. Da Vinci dedujo la leyes que gobernaban el movimiento de un bloque rectangular deslizándose sobre una superficie plana, también, fue el primero en introducir el concepto del coeficiente de fricción. Desafortunadamente sus escritos no fueron publicados hasta cientos de años después de sus descubrimientos. Fue en 1699 que el físico francés Guillaume Amontons redescubrió las leyes de la fricción al estudiar el deslizamiento entre dos superficies planas.

Muchos otros descubrimientos ocurrieron a lo largo de la historia, referentes al tema, científicos como Charles Augustin Coulomb, Robert Hooke, Isaac Newton, entre otros, aportaron conocimientos importantes para el desarrollo de esta ciencia.

³ Linares Omar. Generalidades de la Tribología Fundamentos de la Lubricación, Fricción y el Desgaste. Santa Cruz, Bolivia. 2009

Al surgir la Revolución Industrial el desarrollo tecnológico de la maquinaria para producción avanzó rápidamente. El uso de la potencia del vapor permitió nuevas técnicas de manufactura. En los inicios del siglo veinte, desde el enorme crecimiento industrial hasta la demanda de una mejor tribología, el conocimiento de todas las áreas de la tribología se expandió rápidamente.

La tribología es la ciencia y tecnología que estudia la lubricación, la fricción y el desgaste de partes móviles o estacionarias. La lubricación, la fricción y el desgaste tienen una función fundamental en la vida de los elementos de máquinas.

El termino tribología viene del termino griego “tribos”: que significa frotamiento o rozamiento y “logía”: que significa ciencia, por tanto la traducción literal será “la ciencia del frotamiento o rozamiento”.⁴ La tribología se define como la ciencia que estudia la interacción entre superficies en movimiento relativo e involucra el estudio de la fricción, el desgaste y lubricación⁵.

La Tribología es el arte de aplicar un análisis operacional a problemas de gran importancia económica, llámese, confiabilidad, mantenimiento, y desgaste del equipo técnico, abarcando desde la tecnología aeroespacial hasta aplicaciones domésticas.

El entendimiento de las interacciones superficiales en una interface requiere tener conocimiento de varias disciplinas incluyendo la física, química, matemáticas

⁴ Wales Jimmy, Fundación Wikipedia , Inc. “Tribología” EE.UU <http://es.wikipedia.org/wiki/Tribología> 20 de Julio del 2012

⁵ Linares Omar. Generalidades de la Tribología Fundamentos de la Lubricación, Fricción y el Desgaste. Santa Cruz, Bolivia. 2009

aplicadas, mecánica de sólidos, mecánica de fluidos, termodinámica, transferencia de calor, ciencia de materiales, reología, lubricación, diseño de máquinas, desempeño y confiabilidad.⁶

La mayoría de las consecuencias de la fricción y el desgaste se consideran negativas, tales como el consumo de energía y la causa de las fallas mecánicas, sin embargo existen beneficios fundamentales de la fricción y el desgaste.

El esfuerzo de diseño no solo debe ser menor que el esfuerzo permisible y la deformación no debe exceder ningún valor máximo, sino que la lubricación, la fricción y el desgaste (consideraciones tribológicas) también deben ser apropiadamente comprendidas para que los elementos de máquinas se diseñen con éxito.

Es reconocida como fuente de gran potencial para economizar recursos financieros además de la preservación de activos físicos, materias primas y recursos energéticos. También como una ineludible forma de hacer Mantenimiento Proactivo en equipos y maquinarias.⁷

Como en la resistencia de materiales, la tribología es la base para cada diseño de ingeniería de elementos de máquinas. Casi ningún elemento de maquina no depende de consideraciones tribológicas.

⁶ Linares Omar. Generalidades de la Tribología Fundamentos de la Lubricación, Fricción y el Desgaste. Santa Cruz, Bolivia. 2009

⁷ M. Lukas and D.P. Anderson. Laboratory Used Oil Analysis Methods. Tribology Data Handbook, CRC Press LLC, 1997

La Lubricación

El propósito de la lubricación es la separación de dos superficies con deslizamiento relativo entre sí de tal manera que no se produzca daño en ellas: se intenta con ello que el proceso de deslizamiento sea con el rozamiento más pequeño posible. Para conseguir esto se intenta, siempre que sea posible, que haya una película de lubricante de espesor suficiente entre las dos superficies en contacto para evitar el desgaste.

El objetivo de la lubricación es reducir el rozamiento, el desgaste y el calentamiento de las superficies en contacto de piezas con movimiento relativo⁸.

El estudio de la lubricación está basado en la:

- Mecánica de fluidos.
- Termodinámica y transmisión de calor
- Mecánica de sólidos y materiales

Tipos de Lubricación:

Pueden distinguirse tres formas distintas:

⁸ Maxwell H. & B. Johnson - "Integration of Lubrication and Vibration analysis technologies" – Palo Verde Nuclear Generations Station.

- Lubricación hidrodinámica
- Lubricación límite o de contorno
- Lubricación hidrostática.
- Lubricación Elasto Hidro Dinámica

Lubricación hidrodinámica: Las superficies están separadas por una película de lubricante que proporciona estabilidad. No se basa en introducir lubricante a presión (puede hacerse), exige un caudal de aceite, la presión se genera por movimiento relativo. Se habla también de lubricación de película gruesa, fluida, completa o perfecta⁹. Esto sucede cuando las superficies están completamente cubiertas con una película de lubricante. Esta condición existe una vez que una película de lubricante se mantiene entre los componentes y la presión del lubricante crea una "ola" de lubricante delante de la película que impide el contacto entre superficies. Bajo condiciones hidrodinámicas, no hay contacto físico entre los componentes y no hay desgaste. Si los motores pudieran funcionar bajo condiciones hidrodinámicas todo el tiempo, no habría necesidad de utilizar ingredientes anti-desgaste y de alta presión en las fórmulas de lubricantes. Y el desgaste sería mínimo.

Lubricación límite: La película de lubricante es tan fina que existe un contacto parcial metal-metal. La acción resultante no se explica por la hidrodinámica. Este tipo de

⁹ Maxwell H. & B. Johnson - "Integration of Lubrication and Vibration analysis technologies" – Palo Verde Nuclear Generations Station.

lubricación ocurre a baja velocidad relativa entre los componentes y cuando no hay una capa completa de lubricante cubriendo las piezas. Durante la lubricación límite, hay contacto físico entre las superficies y hay desgaste. La cantidad de desgaste y fricción entre las superficies depende de un número de variables: la calidad de las superficies en contacto, la distancia entre las superficies, la viscosidad del lubricante, la cantidad de lubricante presente, la presión, el esfuerzo impartido a las superficies, y la velocidad de movimiento. Todo esto afecta la lubricación límite. La mayor cantidad del desgaste ocurre al prender el motor. Esto sucede por la baja lubricación límite, ya que el aceite se ha "caído" de las piezas al fondo del cárter produciendo contacto de metal-a-metal. Una vez que arrancó el motor, una nueva capa de lubricante es establecida con la ayuda de la bomba de aceite a medida que los componentes adquieren velocidad de operación.

Puede pasarse de lubricación hidrodinámica a límite por caída de la velocidad, aumento de la carga o disminución del caudal de aceite. En este tipo de lubricación (de película delgada, imperfecta o parcial) más que la viscosidad del lubricante es más importante la composición química⁶.

Lubricación hidrostática: Se obtiene introduciendo a presión el lubricante en la zona de carga para crear una película de lubricante entre los elementos de fricción para evitar el desgaste y los movimientos bruscos durante los impactos. Para ello se bombea aceite a presión entre las superficies de fricción. De este modo, los

elementos de fricción permanecen separados incluso durante las paradas de la máquina.

Lubricación Elasto Hidro Dinámica: A medida que la presión o la carga se incrementan, la viscosidad del aceite también aumenta. Cuando el lubricante converge hacia la zona de contacto, las dos superficies se deforman elásticamente debido a la presión del lubricante. En la zona de contacto, la presión hidrodinámica desarrollada en el lubricante causa un incremento adicional en la viscosidad que es suficiente para separarlas superficies en el borde de ataque del área de contacto. Debido a esta alta viscosidad y al corto tiempo requerido para que el lubricante atraviese la zona de contacto, hacen que el aceite no pueda escapar, y las superficies permanecerán separadas. La carga tiene un pequeño efecto en el espesor de la capa, debido a que a estas presiones, la capa de aceite es más rígida que las superficies metálicas. Por lo tanto, el efecto principal de un incremento en la carga es deformar las superficies metálicas e incrementar el área de contacto, antes que disminuir el espesor de la capa de lubricante.¹⁰

Factores que afectan la Lubricación

El desempeño de un lubricante se ve afectado por varios factores.

Los principales en términos generales son:

¹⁰ G. Pignalosa, C. Mantero, L. Della Mea, R. Mosquera. Mantenimiento predictivo en base al análisis de aceite lubricante. Jornadas Técnicas de END, Montevideo, 24-26 setiembre 2003.

Factores de operación: Entre los factores de operación principales que afectan la lubricación tenemos

- a) La carga
- b) La temperatura
- c) La velocidad.
- d) Posibles contaminantes

Factores de diseño: Entre los factores de diseño se pueden considerar entre otros:

- a) Materiales empleados en los elementos
- b) Textura y acabado de las superficies
- c) Construcción de la máquina
- d) Métodos de aplicación del lubricante

Lubricantes

Un lubricante es una sustancia (gaseosa, líquida o sólida) que reemplaza la fricción entre dos piezas en movimiento relativo por la fricción interna de sus moléculas, que es mucho menor.

Tipos de lubricantes

De acuerdo a su estado los lubricantes se pueden clasificar como:

- Gaseoso(aire)

- Líquidos(aceite)
- Semi-sólidos(grasas)
- Sólidos (Bisulfuro de molibdeno, grafito, talco)

Se destacan por su mayor utilización en la industria los aceites y las grasas.

Según su naturaleza los lubricantes se clasifican:

1. **Vegetales:** Extraídos de las plantas y frutos, poco usados en la lubricación industrial pues comparados con los lubricantes minerales quedan en gran desventaja en lo que respecta al poder lubricante. Se les da mayor utilización en los alimentos. Podemos citar entre otros: Los aceites de oliva, soya, maíz, coco, algodón, higuera, etc.

2. **Animales:** Son extraídos de la lana, de los huesos y tejidos adiposo de los animales terrestres y marinos. También son poco usados en la lubricación industrial, se les utiliza en procesos industriales. Por ejemplo, en la fabricación de jabones. Entre los más conocidos: La lanolina, la manteca de cerdo, el aceite de ballena, etc.

3. **Minerales:** Los lubricantes minerales por sus características son los más utilizados en la industria. Se pueden clasificar así:

Los derivados de los hidrocarburos: son derivados del petróleo cuya estructura se compone de moléculas complejas que contienen entre 20 y 70 átomos de carbono por molécula. Un aceite mineral está constituido por una base lubricante y un paquete de aditivos químicos, que ayudan a mejorar las propiedades ya existentes en la base lubricante o le confieren nuevas características. Los aceites minerales

puros no tienen compuestos inestables, que podrían tener un efecto significativo sobre sudoración: por ejemplo, nitrógeno, oxígeno y compuestos de azufre y ácidos.

4. Sintéticos: El término Hidrocarburo sintetizado (SHC), y lubricantes sintéticos, son utilizados igualmente para describir una familia de aceites y grasas sintéticos que incluyen aceites circulantes, aceites de engranes, aceites hidráulicos, grasas y aceites de compresores. Estos lubricantes son utilizados en una gran variedad de aplicaciones industriales. Por definición, un lubricante sintético es un lubricante diseñado y elaborado para servir mejor a los propósitos previamente reservados para productos extraídos directamente del petróleo. Los términos sintetizado y sintético, describen los aceites básicos, principalmente Polialfaolefinas (PAOs). Adicionalmente, hay otros tipos de aceites que incluyen poliglicoles, esteres orgánicos, esteres fosfatados, diésteres, polifenilester, fluorocarbonos y siliconas sólo por mencionar algunos.¹¹

Clasificación API

De acuerdo a la API (American Petroleum Institute) se ha derivado una nueva clasificación en el ámbito de los lubricantes, de acuerdo a sus propiedades físico químicas y a su resistencia tanto térmica como oxidativa. Esta clasificación se basa en grupos designados de la siguiente manera:

GRUPO I: Usualmente formado por Refinados por Solventes e Hidrogenados

¹¹ Linares Omar. Generalidades de la Tribología Fundamentos de la Lubricación, Fricción y el Desgaste. Santa Cruz, Bolivia. 2009.

GRUPO II: Usualmente formado por los aceites Hidrofraccionados. Aceites Grupo I y Grupo II, NO pueden ser etiquetados como “SINTÉTICOS”.

GRUPO III: Usualmente formado por los aceites Hidrofraccionados Severo.

GRUPO IV: Usualmente formado por Hidrocarburos Sintéticos (PAO).

GRUPO V: Usualmente formado por todos los sintéticos no PAO. Son aceites base no-hidrocarburos Ej. Poliolésteres, Poliglicoles (PAG), Esteres Orgánicos, de Fosfato, Siliconados, Diésteres, Aromáticos Alquilados, etc. Son productos de la industria química y petroquímica.

A continuación se muestra una gráfica en la cual se observa la clasificación en grupo de los aceite industriales con base a su temperatura de operación y su resistencia térmica.

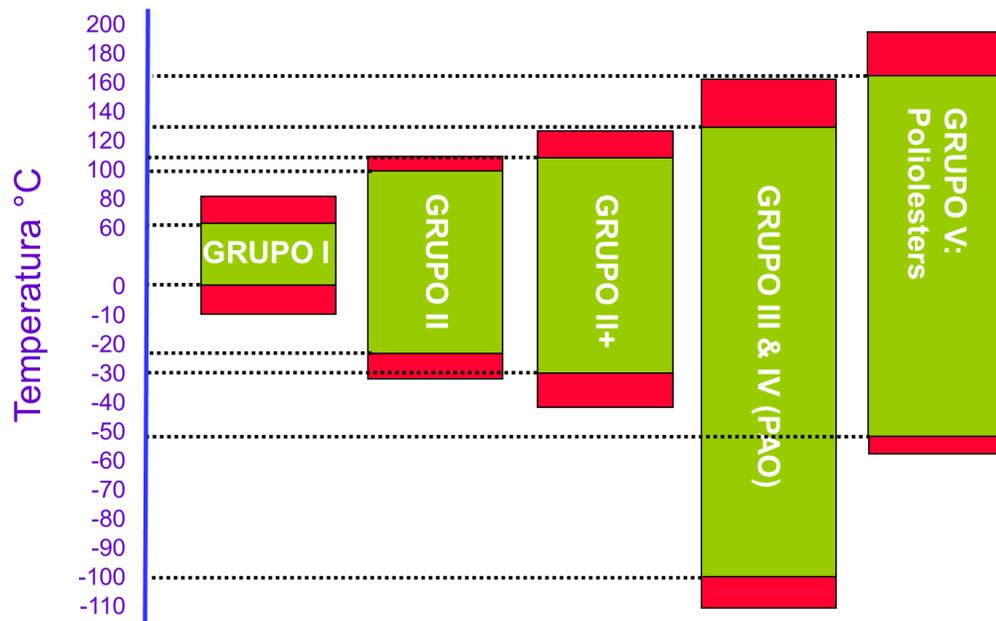


Figura 1: Clasificación de Grupo de aceite de acuerdo a Temperatura de operación

Funciones de un Lubricante

Un lubricante no solo es utilizado para formar una capa límite que reduzca la abrasión o desgaste entre las partes móviles de un equipo, esta sustancia tiene más funciones que la anterior, tales como:

- a) Reducción de la Fricción
- b) Reducción del desgaste
- c) Dispersión del calor
- d) Limpiar , recibir y contener contaminantes
- e) Prevención de la oxidación
- f) Transmisión de potencia¹²

Propiedades Físico Químicas de los Lubricantes

Es de suma importancia puntualizar las propiedades físico químicas fundamentales que le proporcionan a un lubricante alta resistencia térmica y oxidativa haciendo de este un lubricante de buena calidad.

A continuación se examinara cada una de estas propiedades:

Viscosidad: se considera como la resistencia a fluir de los líquidos en movimiento.

La viscosidad nos indica que tanto puede fluir un aceite con respecto a la

¹² Linares Omar. Generalidades de la Tribología Fundamentos de la Lubricación, Fricción y el Desgaste. Santa Cruz, Bolivia. 2009

temperatura, es importante considerar que los aceites varían respecto a la temperatura de operación a la cual se encuentre, siendo que un aceite es más viscoso a menor temperatura y menos viscoso a mayor temperatura. Cabe mencionar que de acuerdo a la normatividad ISO (International Standardization Organization) se evaluará la viscosidad a 40° y 100° C respectivamente, con el fin de proporcionar un parámetro de temperatura a la cual se analice la capacidad de fluir del lubricante. La viscosidad del lubricante debe seleccionarse de acuerdo a la temperatura de operación del equipo al cual lubricará.

Índice de Viscosidad: una propiedad que debe considerarse al elegir un lubricante es el índice de viscosidad, dicho parámetro nos proporciona un idea específica del comportamiento del lubricante respecto a la temperatura, ya que nos dice exactamente cómo se comporta la viscosidad a altas y bajas temperaturas de operación, es importante mencionar que el índice de viscosidad es un valor adimensional, un índice de viscosidad aceptable para un aceite industrial deberá estar por encima de 120.

Punto de Ecurrimiento: es la temperatura más baja a la cual fluirá un aceite. Por definición 3°C mayor a la temperatura a la cual el lubricante dejará de fluir. Es decir el punto de escurrimiento es 3°C más que la temperatura de congelamiento del lubricante.

Número Total Acido: Es la cantidad de ácidos minerales contenidos en el aceite, la presencia de ácidos minerales son producto de una mala refinación, lo que indica

que un aceite no cuenta con un nivel de pureza elevado. El valor de TAN recomendado para un aceite industrial se considera aceptable en 0.15 – 0.20 mgKOH/gr (miligramos de Hidróxido de potasio por gramo de aceite) de aceite.

RPVOT: (también conocida como RBOT - Rotating Pressure Vessel Oxidation Test, ASTM D2272). Mide la cantidad de tiempo que el aceite puede resistir estas condiciones de estrés, antes de que se alcance el punto de ruptura y que el aceite se degrade (oxide). Esto es influenciado por la cantidad y el tipo de oxidantes, la presencia de inhibidores naturales en el aceite base y la resistencia del aceite base a la oxidación¹³.

¹³ Trujillo, Gerardo. Lube-Tips Noria. "Selección de un aceite para Turbinas". Celaya Guanajuato, México. <http://www.lube-tips.com/>. Noviembre 2011

A continuación se ejemplifica la importancia de dichas propiedades físico químicas que deben ser evaluadas en un ficha técnica de cualquier lubricante industrial, cabe mencionar que el desempeño operativo del lubricante es directamente proporcional a las propiedades físico químicas citadas anteriormente.¹⁴

LUBRICANTES MEXLUB®

FICHA TÉCNICA

MEXLUB® Turbinas 9, 11, 15 y 19 (ISO VG 32, 46, 68 y 100 resp.) Aceites Lubricantes Industriales.

DESCRIPCIÓN

MEXLUB® TURBINAS son aceites lubricantes elaborados con aceites básicos vírgenes de tipo parafínico y un paquete de aditivos de alta tecnología que le permiten proporcionar protección contra la herrumbre y la corrosión, resistencia a la degradación térmica y a la oxidación, alta resistencia a la formación de espuma y fácil separación del agua.

PROPIEDADES Y BENEFICIOS

- Buena protección a las superficies ferrosas.
- Baja tendencia a la formación de carbón.
- Alta resistencia a la oxidación y a la degradación térmica.
- Rápida eliminación de la espuma.

APLICACIONES

MEXLUB® TURBINAS Se recomiendan para la lubricación de turbinas a vapor, con sistemas circulatorios en baño o por anillo, turbinas hidráulicas, turbo sopladores y sistemas hidráulicos que operan en condiciones de de velocidades y presiones moderadas, compresores de aire, sistemas circulantes y bombas para pozos profundos.

MEXLUB® TURBINAS cumplen con los requerimientos de US Steel 126, Cincinnati Milacron P-38, P-54, P-55 y P-62, Denison HF-1, DIN 51515 y Siemens KWU TLV 9013 04/01.

CARACTERÍSTICAS TÍPICAS

Propiedad	Método ASTM	ISO VG 32	ISO VG 46	ISO VG 68	ISO VG 100
Código Mexlub		9	11	15	19
Viscosidad a 40°C, cSt	D 445	32	46	68	100
Viscosidad a 100°C, cSt	D 445	5.3	6.3	8.3	9.4
Índice de viscosidad	D 2270	90	96	97	96
Temperatura de inflamación, °C	D 92	210	215	220	225
Punto mínimo de fluidez, °C	D 97	-12	-12	-9	-9
Peso específico 20/4 °C	D 1298	0.879	0.880	0.885	0.887
Número de neutralización, mg KOH/g	D 974	0.15	0.15	0.15	0.15
Demulsibilidad, tiempo para 40-37-3, minutos	D 1401	25	25	25	25
Oxidación en bomba rotatoria (RBOT), minutos	D 2272	450	450	450	450
Estabilidad a la oxidación, hasta TAN 2.0, hrs.	D 943	2200	2200	2200	2200

PRESENTACIONES

MEXLUB® TURBINAS se presentan en:
Tambor 208 L., Granel.

PRECAUCIONES

MEXLUB® TURBINAS no produce efectos nocivos cuando se utiliza en las aplicaciones recomendadas y se respetan unas adecuadas prácticas de seguridad e higiene en el trabajo.

No contamine, no tire el aceite usado al alcantarillado, para mayores detalles consulte la hoja de seguridad del producto.

¹⁴ "BARD AHL LUBRICANTS" –Fichas Técnicas de Lubricantes Industriales - <http://www.bardahl.com.mx/mexlubturbinas.swf>, Octubre 2013

El análisis de aceite

Para disponer de un efectivo sistema de mantenimiento, es necesario poder evaluar el estado técnico de cada uno de los elementos que componen la máquina, para tomar medidas dirigidas no a un conjunto de elementos, sino a cada uno en particular. Para lograr lo anterior se ha desarrollado una rama de la metodología que se dedica al estudio y determinación del estado técnico de cada artículo en explotación con un enfoque individual para restablecer sus requisitos de funcionamiento, que se ha denominado Diagnóstico Técnico.

El Mantenimiento Predictivo se enfoca a los síntomas de falla que se identifican utilizando las distintas técnicas tales como análisis de lubricantes, análisis de vibraciones, y ensayos no destructivos como: radiografías, ultrasonido, termografía, etc. que permiten detectar los síntomas de inicio de falla de la maquinaria.

El mayor beneficio de la utilización de estas herramientas, es que se logra una alerta temprana que permite planificar un paro técnico para corregir el problema, alcanzando de ésta manera una mayor disponibilidad de la maquinaria y una reducción del número de fallas catastróficas.¹⁵

El hecho de analizar simplemente la máquina para analizar su estado no siempre es posible. El análisis del aceite puede ser realizado con facilidad y ofrecer información acerca de las condiciones operativas de la máquina y del estado del aceite. Por tal

¹⁵ Drew D. Troyer - Noria Corporation - "Effective Integration of vibration analysis and Oil Analysis" Maintenance Technology Magazine November 99.

razón, a partir de los resultados del análisis del aceite se puede determinar si el lubricante y la máquina se encuentran en buen estado y utilizar esta información para el planteamiento de los programas de mantenimiento predictivo.

Muchos fabricantes de equipos, así como organizaciones internacionales especifican sus propios límites operativos, lo cual permitirá con mayor facilidad y confianza, determinar el momento oportuno para que el aceite sea drenado, así como también, si se debe sustituir alguna pieza del equipo.

La filosofía del Mantenimiento Proactivo, utiliza técnicas que monitorean las condiciones de operación de las máquinas y equipos, las cuales permiten detectar las causas que dan origen a las fallas, para eliminarlas y prolongar la vida del equipo, permitiéndonos además anticipar las fallas antes que se conviertan en catastróficas.

El Análisis de Aceite es una de las técnicas simples, que mayor información proporciona al Administrador de Mantenimiento, con respecto a las condiciones de operación del equipo, sus niveles de contaminación, degradación y finalmente su desgaste y vida útil. Con el análisis de aceite es posible aplicar técnicas de cambio del lubricante basado en su condición, con lo que se obtienen ahorros importantes.

La importancia de contar con un programa de monitoreo básico para la condición de los aceites lubricantes en servicio, es vital, para asegurar la operación por períodos prolongados y sin problemas de la turbomaquinaria¹⁶.

La norma ASTM D 4378-97 indica cómo llevar a cabo un programa efectivo de muestreo y pruebas para el aceite lubricante en maquinaria en servicio, con el objetivo de mantener una lubricación efectiva de todas las partes de la turbomaquinaria y proteger el equipo contra problemas que puedan presentarse asociados con la degradación y contaminación del aceite. Como es conocido uno de los factores más importantes para extender la vida útil de un equipo, es la calidad del aceite original con el que trabaja la maquinaria, así como las condiciones de operación dentro del sistema, es decir, el oxígeno presente, las altas temperaturas, los contaminantes; elementos que en conjunto provocan la degradación del lubricante.¹⁷ Es por ello que el acondicionamiento continuo del aceite juega un papel esencial, para acrecentar su vida útil, un método importante para reconocer en qué condiciones se encuentra operando el aceite, es la realización de un muestreo del lubricante con técnicas apropiadas.

¹⁶ M. Lukas and D.P. Anderson. Laboratory Used Oil Analysis Methods. Tribology Data Handbook, CRC Press LLC, 1997

¹⁷ Standar Test Method for Practice for In-Service Monitoring of Mineral Turbine Oils for Steam and Gas Turbines. ASTM D4378 - 08 Philadelphia (2008).

Un programa de monitoreo exitoso según la norma ASTM D 4378-97 está basado en la elaboración de un programa de monitoreo a intervalos adecuados, el registro y la interpretación de resultados y finalmente las acciones que deberán tomarse.

El Mantenimiento

Conjunto de actividades que permiten mantener un equipo, sistema o instalación en condición operativa, de tal forma que cumpla las funciones para las cuales fueron diseñados y asignados o restablecer dicha condición cuando esta se pierde.

Objetivos del Mantenimiento

Mejorar continuamente la operación de los equipos hasta su más alto nivel operativo, mediante el incremento de la disponibilidad, efectividad y confiabilidad.

1. Aprovechar al máximo los componentes de los equipos, para disminuir los costos de mantenimiento.
2. Garantizar el buen funcionamiento de los equipos, para aumentar la producción.
3. Cumplir todas las normas de seguridad y medio ambiente. Maximizar el beneficio global.¹⁸

Actualmente se han clasificado los mantenimientos por tipos, entre los cuales están:

- Mantenimiento Correctivo
- Mantenimiento Preventivo

¹⁸ Duffuaa Raouf Dixon. Sistema de mantenimiento: Planeación y control, México: Editorial Limusa Wiley, 2006

- Mantenimiento Predictivo
- Mantenimiento Proactivo

Cada una de estas tiene sus propias características que las diferencian, pero con la meta de alcanzar el mismo fin.¹⁹

Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo, como su nombre lo indica se refiere a corregir una falla en cualquier momento que se presente, está basado en la falla ya que esta indica que se le debe de proporcionar el mantenimiento. Lo que se quiere lograr es corregir el problema lo más rápido posible con el menor costo, sin embargo, la producción de la planta y la confiabilidad del equipo fueron afectadas sin previo aviso. Las salidas de operación y los paros no programados generados por fallas que dan pie al mantenimiento correctivo suelen traer consigo altas pérdidas económicas derivadas de la disminución en la producción de la planta, mano de obra dedicada al mantenimiento correctivo, horas extras del personal de mantenimiento, costos de refacciones, entre otros.

Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo como su nombre lo indica, previene al máximo, las fallas que se puedan generar detectándolas con oportunidad, básicamente son todas

¹⁹ G. Pignalosa, C. Mantero, L. Della Mea, R. Mosquera. Mantenimiento predictivo en base al análisis de aceite lubricante. Jornadas Técnicas de END, Montevideo, 24-26 setiembre 2003.

aquellas actividades que conllevan a revisiones e inspecciones programadas, que pueden tener una consecuencia correctiva o de cambio. El mantenimiento se hace a través de un programa de actividades entre las cuales se tiene la revisión y lubricación, previamente establecidas. Para un mantenimiento preventivo es necesario contar con el apoyo de todo el personal dentro de la empresa para poder planificarlo adecuadamente, es de suma importancia mencionar, que la base del mantenimiento preventivo, está en función del tiempo. Es necesario que se lleve un control, lo cual indica un análisis detallado de cada una de las actividades y del estricto cumplimiento de éstas; el control nos ayuda a comprobar que lo planeado se está llevando a cabo; en caso de que se presente una anomalía esta se puede corregir.²⁰

Una de las ventajas de mantenimiento preventivo es que se sabe con anticipación qué es lo que se debe de hacer, ya que se dispone de personal, documentos técnicos y repuestos. Los trabajos pueden ser programados a futuro sin afectar las actividades de producción y se dispone de tiempo para realizar todas las tareas que no se pueden hacer cuando el equipo está en funcionamiento.

Dentro de los enfoques preferidos, frente al mantenimiento correctivo, encontramos cuatro razones principales:

²⁰ Salazar Pérez Carlos Manuel. Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para sistemas de aire en plantas de extracción de líquidos de gas natural. Venezuela 2009

- a) La frecuencia con que ocurren las fallas prematuras pueden reducirse, mediante una lubricación adecuada, limpieza, ajustes, inspecciones promovidas por la medición del desempeño.
- b) Si la falla no puede prevenirse, la inspección y las mediciones periódicas pueden ayudar a reducir la severidad de la falla y el posible efecto dominó en otros componentes del sistema del equipo, mitigando de esta forma las consecuencias negativas para la seguridad, el ambiente o la capacidad de producción.
- c) Se puede vigilar la degradación gradual en función a un parámetro, como la calidad de un producto o la vibración de una máquina, puede detectarse el aviso de una falla inminente.
- d) Finalmente hay importantes diferencias en costos tanto directos (ejemplo, materiales) como indirectos (pérdidas de producción) debido a que una interrupción no planeada a menudo provoca un gran daño a los programas de producción y a la producción misma, y debido también a que el costo real de un mantenimiento de emergencia es mayor que uno planeado y a que la calidad de reparación puede verse afectada de manera negativa bajo la presión de una emergencia²¹.

²¹ Salazar Pérez Carlos Manuel. Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para sistemas de aire en plantas de extracción de líquidos de gas natural. Venezuela 2009

Mantenimiento predictivo

Para llevar a cabo este mantenimiento es necesario realizar mediciones mediante ensayos no destructivos. Los instrumentos utilizados para realizar este tipo de mantenimiento son de un alto costo, sin embargo hay que destacar que la mayoría de las inspecciones se realizan con el equipo en funcionamiento y sin causar paros en la misma.

La aplicación de este mantenimiento se presenta en los quipos con mayor criticidad operativa en una planta de producción o generación. Para este tipo de mantenimiento se llevan a cabo la evaluación de diferentes aspectos considerando la aplicación del equipo y la criticidad del mismo; para cada uno de estos aspectos se determinan diversos parámetros de evaluación basados en diferentes técnicas.

Dentro de los parámetros de mayor prioridad encontramos:

Desgaste: el desgaste puede ser evaluado a través de diferentes herramientas, tales como el análisis de vibración, análisis termografico y finalmente el análisis de aceite lubricantes a través de espectrofotometria de absorción atómica, este análisis proporciona información representativa de un excesivo desgaste de material.

Fracturas: permite evaluar la cantidad y el tamaño de las partículas magnéticas con el fin de generar una visión más amplia del grado de desgaste que está siendo generado por el equipo, para ello se recurre al análisis de rayos X, ultrasonido o tintas reveladoras, así mismo al análisis de aceite a través del código de limpieza y el conteo de partículas.

Vibraciones: consiste en el estudio del tipo de propagación de ondas elásticas en un material homogéneo y la determinación de los efectos producidos y el modo de propagación. Las vibraciones pueden ser medidas y caracterizadas midiendo la oscilación o desplazamiento alternante de ciertos puntos al paso de una onda elástica así como mediciones de amplitud, velocidad y aceleración.

Temperatura: para la medición de los cambios de temperatura dentro del equipo se recurre considerablemente a la termografía, técnica que permite medir temperaturas a distancia con exactitud y sin necesidad de contacto físico con el objeto a estudiar. Mediante la captación de la radiación infrarroja del espectro electromagnético, utilizando cámaras termográficas o de termovisión, se puede convertir la energía radiada en información sobre temperatura termografica.²²

Mantenimiento proactivo

El mantenimiento proactivo como su nombre lo menciona, se anticipa de una forma proactiva a las posibles fallas que podrá generar un equipo o máquina, esta se destaca porque trata de eliminar la causa principal que puede generar varios problemas o efectos según transcurra el tiempo. Un mantenimiento proactivo se basa en localizar la causa principal del problema y tomar las medidas necesarias para que no incurra en el mismo factor.

²² Maxwell H. & B. Johnson - "Integration of Lubrication and Vibration analysis technologies" – Palo Verde Nuclear Generations Station.

Este tipo de mantenimiento se anticipa ante cualquier causa que puede repercutir en el futuro. Para realizar un mantenimiento proactivo se deben de tener políticas dentro de la empresa que respalden cualquier necesidad que acontezca y tener una mente abierta para poder resolver los problemas que se presenten.²³

El mantenimiento predictivo se utiliza como información para un adecuado programa de mantenimiento preventivo.

Es importante considerar que la estrategia de la puesta en operación de su programa de monitoreo de aceite lubricante es uno de los pilares más fuertes del mantenimiento predictivo y proactivo, puesto que en esta herramienta recae la obtención sustancial de información acerca de uno de los componentes más críticos del equipo, el sistema de lubricación. Es por ello que el lubricante es considerado como “la sangre de la maquinaria”, cualquier tipo de situación anormal en el equipo será detectada mediante un análisis de aceite.²⁴

²³ Salazar Pérez Carlos Manuel. Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para sistemas de aire en plantas de extracción de líquidos de gas natural. Venezuela 2009.

²⁴ Catalán Vera Harry Alan Roberto. Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para la industria de café quetzal, Guatemala, Octubre 2009.

CAPITULO II

PLANTEAMIENTO

Antecedentes

En los últimos años, se ha incorporado el concepto de confiabilidad aunada a la disponibilidad y garantía de operación de los equipos críticos de una planta, en la medida que se comprendió que no era suficiente lograr una alta disponibilidad, sino también disminuir al mínimo la probabilidad de falla de las máquinas críticas durante la etapa operativa del proceso, es decir lograr conseguir una alta confiabilidad. La puesta fuera de operación del equipo crítico de una planta, tiene fuerte impacto en la operación, producción y asociados altos costos por la no disponibilidad de los equipos del proceso. Las consecuencias de una falla pueden ir desde la pérdida de la producción, pasando por las horas hombre improductivas, hasta la degradación y descompostura de las propias máquinas. Una alta disponibilidad no implica necesariamente una alta confiabilidad, pero una alta confiabilidad si implica una buena disponibilidad y seguridad, en la medida que la maquinaria presenta una baja probabilidad de falla. Para el caso de la maquinaria crítica, la confiabilidad será el producto de la confiabilidad individual de cada sistema que la compone.²⁵

Con el paso de los años, la idea de mantenimiento de equipos ha evolucionado considerablemente, puesto que anteriormente las plantas habían trabajado bajo el

²⁵ G. Pignalosa, C. Mantero, L. Della Mea, R. Mosquera. Mantenimiento predictivo en base al análisis de aceite lubricante. Jornadas Técnicas de END, Montevideo, 24-26 setiembre 2003.

esquema de mantenimiento correctivo, es decir, solo se atendían las fallas cuando estas ya habían ocurrido, provocando altos costos por descompostura, horas fuera de operación, y horas hombre improductivas; sin embargo el concepto de mantenimiento ha ido migrando hacia un mantenimiento preventivo y hoy en día se habla de un mantenimiento proactivo, refiriéndonos a evaluar todas las condiciones de los equipos críticos de una planta de forma continua y evolutiva con el fin de prever desde mucho tiempo atrás una posible falla en la operación de los equipos críticos. Para lo cual se echa mano de herramientas importantes para llevar a cabo la evaluación de la condición de los equipos críticos, una de estas herramientas importantes, es un programa de monitoreo de la condición de aceites lubricantes. Derivado de todos estos conceptos se incorpora un nuevo concepto en el mantenimiento llamado Triboeficiencia: Concepto enfocado a alcanzar una eficiencia productiva de instalaciones mediante la asimilación y conocimiento de tecnologías y programas tribológicos normados. Permite lograr la máxima eficiencia operativa en los equipos dinámicos mediante el control del desgaste. Producción Rentable y Sustentable basada en confiabilidad tribológica de equipo dinámico.

En los equipos críticos situados en una planta de producción, el sistema de lubricación se encarga de separar mediante una capa de lubricante las piezas en movimiento relativo. Al producirse desgastes interiores, debido a la fricción entre ellas, las pequeñas partículas de material desprendidas pasan al aceite; las

partículas más grandes se depositan en el fondo del cárter o quedan atrapadas en el filtro, el resto permanecerá en suspensión en el aceite. La cantidad o la masa de partículas metálicas en suspensión (concentración) en el aceite lubricante determinará si el desgaste en el motor es normal, progresivo o acelerado. Sin embargo, la técnica del análisis de aceite se debe respaldar en una serie de análisis periódicos y continuos, con lo cual se puede establecer la tendencia del desgaste y controlar estadísticamente los desgastes normales, progresivos o acelerados.²⁶

El análisis de aceite lubricante es considerado como un método de mantenimiento preventivo y predictivo en la turbomaquinaria. Es una técnica que permite saber qué está ocurriendo en el interior del equipo, ayudando a detectar rápidamente problemas de desgaste de los componentes del equipo, así como la contaminación y degradación del aceite lubricante.

El diagnóstico técnico de la turbomaquinaria ha evolucionado enormemente en los últimos años. Existen diversos métodos, entre ellos, el basado en el análisis de laboratorio de aceite lubricante que se emplea con rigurosidad científica para saber qué es lo que está ocurriendo en el interior del equipo. Sus principales ventajas son: constituye una herramienta del mantenimiento predictivo, evita paralizaciones no programadas, ayuda a prevenir fallas, incrementa la vida útil del equipo, reduce los costos de inventario, mejora la disponibilidad de los equipos en planta y contribuye

²⁶ G. Pignalosa, C. Mantero, L. Della Mea, R. Mosquera. Mantenimiento predictivo en base al análisis de aceite lubricante. Jornadas Técnicas de END, Montevideo, 24-26 setiembre 2003.

con el control de emisiones de los gases de escape evacuados hacia el medio ambiente, disminuyendo la contaminación del aire.

Mediante la implantación de un programa de análisis de aceite se pueden verificar la totalidad de las variables asociadas a la operación de un equipo, es decir nos permite conocer la condición actual de la maquinaria. Un análisis de aceite nos da a conocer todas las variables fisicoquímicas posibles que son analizadas mediante una comparación con el rango de valores normales basados en normatividad, con el fin de evaluar las condiciones de desgaste del equipo.²⁷

El monitoreo de condición mediante un análisis de aceite, estudia la evolución de los parámetros seleccionados en un período de tiempo, con la finalidad de identificar la existencia de tendencias que indiquen o nos den la idea de una posible evolución de una falla, antes de que esta ocurra, siendo este el valor agregado de la incorporación de un Programa de monitoreo de análisis de aceite lubricante.

En ésta medida un Programa de Monitoreo de Condición puede generar los siguientes beneficios:

- Detectar condiciones que indiquen la evolución de una posible falla.
- Determinar la condición actual de la maquinaria.
- Determinar la condición del lubricante en operación.
- Determinar el tipo de contaminación presente.

²⁷ Albarracin Aguillon, Pedro. Tribología y Lubricación. Tomo I. 4ª Edición. Medellín, Colombia 2012.

- Detectar problemas actuales en la maquinaria, derivada de la contaminación presente en el equipo.
- Evitar fallas catastróficas.
- Diagnóstico de causa raíz de fallas en los equipos.
- Proyección de vida útil tanto del equipo como del propio lubricante.
- Identificar posibles métodos de eliminación de contaminantes presente en el lubricante con el fin de evitar posibles fallas a futuro.

Para llevar a cabo una estrategia de Monitoreo de Condición se debe evaluar los equipos de acuerdo a su criticidad, desempeño, carga operativa y como afecta su confiabilidad, disponibilidad, los costos de puesta fuera de operación, los costos de no confiabilidad, y la seguridad operativa del mismo, de manera que los costos de aplicación del monitoreo sean menores a los que se ocasionan por la descompostura de la maquinaria.²⁸

Cada una de las herramientas que utiliza el Monitoreo de Condición tendrá que ser seleccionada de acuerdo a su capacidad de identificar las causas de falla.

Cabe mencionar que de acuerdo a un estudio realizado por el Electric Power Research Institute el 54% de las salidas de operación de turbomaquinaria en EU fue causa de la lubricación y contaminación del sistema. Las estadísticas prueban que aproximadamente el 10% de las causas que se presentan derivadas de una

²⁸ Drew D. Troyer - Noria Corporation - "Effective Integration of vibration analysis and Oil Analysis" Maintenance Technology Magazine November 99.

lubricación deficiente, generan el 90% de las fallas, por ello resulta fundamental no continuar gastando en las consecuencias de las mismas fallas.

La maquinaria es dependiente de sistemas fluidos “vitales” para su operación, tales como los lubricantes, aceites hidráulicos, refrigerantes, combustibles y aire, los cuales llevan contaminantes dentro del sistema y los transportan al interior del equipo. La presencia de contaminación normal, en un sistema puede describirse como falla incipiente. Esto significa que aunque la máquina no está experimentando una pérdida en su desempeño o degradación de sus componentes, las condiciones que llevan a la falla y reducen la vida del componente están presentes, dicha contaminación podemos clasificarla como contaminación ingerida, es decir proveniente del exterior, o contaminación generada, es decir, contaminación que está siendo producida por el propio equipo, ocasionada por el desgaste del mismo; en consecuencia el análisis de lubricantes es la herramienta fundamental de una Estrategia Proactiva para el caso de flotas de maquinaria crítica.²⁹

Hoy en día, se hace necesario contar con un programa de monitoreo de análisis de aceite como una herramienta fundamental del mantenimiento proactivo en una planta, sin embargo, en México son pocas las empresas enfocadas a dar un servicio de calidad en cuanto a calidad de análisis de aceite se refiere, y soluciones tribológicas enfocadas a la turbomaquinaria crítica. Es por ello que surge la

²⁹ Albarracín Aguillon, Pedro. “ Tribología y Lubricación ”. Tomo I. 4ª Edición. Medellín, Colombia 2012.

oportunidad insipiente de implementar un laboratorio de análisis de aceite que pueda proveer en tiempo y forma resultados confiables en base a normativa aplicable.

Justificación Técnica

La necesidad de incorporar un laboratorio central surge como un área de oportunidad sustancial, para el incremento en la proyección de ventas del servicio de análisis de aceite, cabe mencionar que dicha división de negocio es el elemento clave para la venta de tecnologías y soluciones tribológicas en instalaciones industriales con el fin de mantener 100% operable los equipos de proceso.

Actualmente la división de análisis de aceite mantiene un procesamiento de muestras de aceite de 3000 a 4000 muestras anuales, mismas muestras que son procesadas a través de un laboratorio de outsourcing situado en Estados Unidos distribuidas en volúmenes mensuales. En segundo plano, otra parte importante de este volumen de muestras, corresponde al procesamiento de muestras procedentes de Análisis para demostraciones al cliente, mismos que suelen ser brindados gratuitamente para justificar y colocar un contrato de análisis de aceite o bien para llevar cabo la venta y colocación de tecnologías en lubricación, o contratos generales en el gestionamiento de la lubricación en toda una planta de producción, cabe mencionar que la tecnología de análisis de aceite es la fuerza clave de venta para la incorporación de las demás tecnologías de soluciones tribológicas.

El volumen de muestras, antes mencionado, son procesadas en laboratorios externos, situados en el extranjero, por lo que asociado a los costos ocasionados por la toma de muestras, y los materiales ocupados, es necesario incorporar los costos de envío, fletes, importación y logística, al laboratorio externo.

Es por ello que el presente estudio propone la creación de este laboratorio en México como solución para gestionar el volumen de muestras asociados a los 2 aspectos mencionados, con el fin de eliminar los costos de fletes y logística y llevar a cabo los análisis de estas muestras a menor costo que lo establecido por un laboratorio externo.

Otro de los beneficios que podrá traer consigo, es que también tendría como función ser un laboratorio de respuesta rápida, es decir, cualquier tipo de muestra de urgencia procedente de los clientes ya existentes, que deba ser procesada en un lapso de 24 horas a partir de que la muestra ingrese al laboratorio, podrá ser analizada en este lapso de tiempo, en dicho laboratorio, permitiendo al cliente, contar con resultados en menor tiempo con el fin de que pueda llevar a cabo una toma de decisiones rápida y efectiva, para el correcto funcionamiento de su equipo en planta.

Es importante mencionar que la tecnología de análisis de aceite está encargada de proveer confiabilidad a los equipos críticos del cliente mediante la evaluación continua del lubricante, es por ello que el reporte de resultados en plazos de tiempos de entrega muy cortos, suman un alto valor agregado al cliente, entre menor

sea del tiempo de entrega de resultados al cliente, más efectivo será el efecto de dichos resultados, así como las acciones preventivas o correctivas tomadas para el equipo analizado; es por este motivo que la información obtenida de forma completa y en un período de tiempo corto, es de sumo valor e importancia para la operación tanto de su equipo crítico como de su planta de producción.

Así mismo este proyecto además de consolidar los puntos anteriores, está dirigido a apoyar, optimizar y reducir el costo en los procesos operativos, costos de logística, envío de muestras y costos de procesamiento con laboratorios externos situados en el extranjero; simplificando significativamente los costos asociados a esta tarea, e incrementando los beneficios económicos y la utilidad de los proyectos asociados con el análisis de aceite.

Objetivo General

El objetivo general de este proyecto es minimizar los costos operativos y de logística, derivados de llevar a cabo el procesamiento de muestras de aceite para el análisis básico con un laboratorio externo situado en el extranjero, mediante la incorporación a la empresa de un laboratorio local interno de análisis de aceite que sea capaz y permita el procesamiento de análisis de paquete de pruebas básicas en aceites industriales.

Objetivos Particulares

Los objetivos particulares se definen a continuación:

- Reducción de costos de fletes y logística.
- Facilidad de procesamiento de muestras de clientes en laboratorios propios.
- Minimización de costos de procesamiento de muestras con Laboratorios outsourcing.
- Mejoramiento de tiempo de entrega de resultados a los clientes. Menor a 2 días hábiles.
- Mejoramiento en costos de venta por muestra de aceite ofertada, que permite competitividad en el mercado.
- Eliminación de costos en el procesamiento de muestras de demostración para nuevos clientes.

Alcances:

El alcance de este proyecto es la instalación y puesta en operación de un laboratorio de análisis de aceite capaz de procesar pruebas concluyentes y pertenecientes a un paquete de análisis básicos para un aceite industrial.

Así mismo el laboratorio contara con todos los equipos necesarios para llevar a cabo las siguientes pruebas requeridas, con el fin de evaluar la condición operativa del lubricante y las condiciones operativas y de desgaste del equipo crítico que está siendo analizado:

- Viscosidad @ 40 °C y 100° C ASTM D 445³⁰

³⁰ Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids , ASTM Standard D 445-88, Amer. Soc. for Testing Materials, Philadelphia (1992).

- Densidad ASTM D 1298³¹
- Punto de Inflamación ASTM D 92³²
- Código de limpieza ISO 4406³³
- RULER (contenido de aditivos en el lubricante)³⁴
- Espectrometría de Metales ASTM D 6595³⁵
- Número total ácido TAN³⁶
- Número total Básico TBN³⁷
- Color ASTM D 1500³⁸
- FTIR (Ferrografía Infrarroja por Transformada de Furier)

Contará con Manuales de operación, procesamiento y seguridad e higiene.

³¹ Standar Test Method for Practice for In-Service Monitoring of Mineral Turbine Oils for Steam and Gas Turbines. ASTM D4378 - 08 Philadelphia (2008).

³² Standard Test Method for Flash and fire point by Cleveland Open Cup, Standard D 92-12. Philadelphia (2012).

³³ International Estándar ISO 4406 Hydraulic Fluids power – Fluids - Method For Coding The Level of Contamination by Solids Particles. 1999.

³⁴ Standard Test Method for Measurement of Hindered Phenolic Antioxidant Content in Non-Zinc Turbine Oils by Linear Sweep Voltammetry ASTM D6810. 2013.

³⁵ Standard Test Method for Determination of Additive Elements, Wear Metals, and Contaminants in Used Lubricating Oils By Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry”, ASTM Standard D 5185-91, Amer. Soc. for Testing Materials, Philadelphia (1992).

³⁶ Standard Test Method for Base Number of Petroleum Products by Potentiometric Perchloric Acid Titration”, ASTM Standard D 2896-88, Amer. Soc. for Testing Materials, Philadelphia (1992).

³⁷ ASTM D2896 - 07a Standard Test Method for Base Number of Petroleum Products by Potentiometric Perchloric Acid Titration. (2007).

³⁸ Standar Test Method for Test Method for ASTM Color of Petroleum Products (ASTM Color Scale), ASTM D1500 - 07 Philadelphia (2007).

Entregables:

El presente proyecto pretende generar los siguientes beneficios y servicios:

1. La creación de un espacio físico con equipos de laboratorios que permitan procesar análisis de lubricantes en base a un paquete típico de aceite.
2. Determinar el equipo de Laboratorio a adquirir, y los recursos necesarios.
3. Adquisición de los equipos de Laboratorio que cumpla con las características necesarias de las pruebas bajo las normatividades requeridas, así como los Materiales consumibles necesarios.
4. Llevar a cabo el estudio financiero correspondiente a la adquisición de equipos de laboratorio.
5. Definir el tipo de instalación requerida.
7. Manual de Operación del laboratorio.
8. Manual técnico del procesamiento de muestras.
9. Manual de reporte de resultados.
10. Manual de seguridad.
11. Puesta en operación del laboratorio de análisis de aceite.
12. Procesamiento de muestras.
13. Generación de resultados de análisis.
14. Entrega de resultados a los clientes externos y/o internos.

CAPITULO III

Metodología

Investigación de los requerimientos internos.

Como parte de los fundamentos del presente trabajo, se pretende destacar la importancia del análisis de aceite, como una herramienta, a la hora de llevar adelante una estrategia de Mantenimiento Proactivo en una planta de producción, (fabricación de producto definido, extracción de petróleo y sus derivados, y/o empresa de generación de energía) para el caso de flotas de turbomaquinaria.

La filosofía del mantenimiento Proactivo conduce a detectar y eliminar las causas que originan fallas en la maquinaria. El análisis de aceite permite conocer tanto la condición del lubricante, como el estado de contaminación y desgaste del sistema de lubricación del equipo que está siendo analizado, así como también, reconocer las causas que provocan las fallas, para poder eliminarlas mediante un análisis de causa raíz, aumentando de ésta forma, la confiabilidad y la disponibilidad del equipo y sobre todo de la planta de producción.

El Mantenimiento Predictivo se enfoca a los síntomas de falla que se identifican utilizando las distintas técnicas tales como análisis de lubricantes, análisis de vibraciones, y ensayos no destructivos como: radiografías, ultrasonido, termografía, entre otros, que permiten detectar los síntomas de inicio de falla de la maquinaria.

El mayor beneficio de la utilización de éstas herramientas, es principalmente que se logra detectar una alerta temprana que permite planificar un paro programado del equipo para corregir el problema, alcanzando de ésta manera una mayor disponibilidad de la maquinaria y una reducción del número de fallas catastróficas, que finalmente desembocan en altos costos por la no disponibilidad del equipo y en altos costos en mantenimientos correctivos, así como el costo asociado al paro del equipo o en ocasiones de toda la planta. Es importante considerar que la falta de disponibilidad de un equipo en planta, ocasiona altas pérdidas económicas por la falta de producción o de generación de energía asociada a la tarea que realiza ese equipo en particular, en el proceso llevado en la planta.³⁹

De acuerdo a la presente investigación, se ha encontrado que de acuerdo a la metodología del análisis de aceite y a las corrientes existentes se hace necesario cumplir con requerimientos específicos en las pruebas necesarias para llevar a cabo un análisis de aceite, las cuales se mencionan en la siguiente tabla:

³⁹ Salazar Pérez Carlos Manuel. Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para sistemas de aire en plantas de extracción de líquidos de gas natural. Venezuela 2009

Las tres categorías del análisis de aceite:

Pruebas	Propiedades del Aceite	Contaminación	Rebabas de desgaste
Propiedades que se analizan	Propiedades físicas y químicas del aceite usado (proceso de envejecimiento)	Contaminantes destructivos del aceite y la maquinaria	Presencia e identificación de las partículas de desgaste
Conteo de partículas	M	L	W
Análisis de humedad	M	L	M
Viscosidad	L	W	M
Densidad de rebabas	M	M	L
Ferrografía analítica	M	W	L
Número Total Acido / Número Total Básico	L	W	W
FTIR (Espectroscopía Infrarroja)	L	W	M
Prueba de membrana	M	L	W
Punto de inflamación	W	L	M
Elementos metálicos	L	W	L
Tipo de Mantenimiento	Proactivo	Proactivo	Predictivo

L Beneficio Importante

W Beneficio menor

M No proporciona beneficio

Figura 2: Las tres categorías del análisis de aceite⁴⁰

⁴⁰ Maxwell H. & B. Johnson - "Integration of Lubrication and Vibration analysis technologies" – Palo Verde Nuclear Generations Station.

En la presenta tabla 3.1.1. Se muestran las pruebas requeridas y organizadas de acuerdo a los beneficios que brindan, teniendo de referencia su importancia, relevancia en el impacto del resultado y al conocimiento que brinda tanto a lo correspondiente al lubricante como al estado de la máquina. Es importante considerar que existen 3 fases asociadas al análisis del aceite, mismas que proveen: la condición del lubricante en base a sus propiedades físico químicas, el estado de desgaste o condición del equipo analizado y por último el tipo de contaminación presente. Este último es de suma importancia conocerlo puesto que con base al tipo de contaminante presente, se seleccionara el método más apropiado para la eliminación del mismo. Estas tres fases, cierran el círculo del análisis de causas raíz, de esta manera, se descubre la falla, se toman acciones preventivas o correctivas según sea el caso, y se ataca directamente la causa del problema y no el síntoma.

Por otra parte, se clasifican los tipos de pruebas mencionados de acuerdo al tipo de mantenimiento que se esté llevando a cabo, ya sea un mantenimiento proactivo, predictivo y el último y menos deseado, el mantenimiento correctivo, mismo que provoca altos costos tanto de operación como de reparación del equipo.

Así mismo nos ayudan a proveer información muy valiosa del estado de los componentes, muchos de los cuales son de operación continua y que su paro por causa de desgaste o lubricación puede resultar muy costoso. Estos análisis de aceite lubricante son considerados de bajo costo, comparados al beneficio que

pueden ofrecer en la mejora del rendimiento de la operación de equipos de la producción en la planta.

Los análisis de aceite generalmente se hacen a los siguientes componentes: equipos hidráulicos, reductores, compresores, turbinas, bombas de cualquier tipo, motores, transmisiones tanto mecánicas como automáticas, mandos finales, diferenciales, cajas de engranajes, equipo de trituración en minas, plantas generadoras, entre otros. Tomando como ejemplo estas últimas, el análisis de aceite es de suma importancia para los equipos críticos de dichas plantas de generación de energía; cabe mencionar que por normatividad, es necesario llevar a cabo análisis del aceite dieléctrico de manera periódica, dependiendo de la criticidad de los transformadores, siendo requerido como mínimo un análisis cada año para estos equipos, un ejemplo claro para determinar el estado del fluido dieléctrico es el contenido de agua, siendo dictaminatorio un límite máximo de 30 ppm, de existir mayor contenido de humedad en el fluido lubricante, se requerirá de un proceso de deshumidificación del mismo con el fin de eliminar el contenido excesivo de agua, y de esta manera evitar la contaminación del aislante sólido y finalmente la degradación total del lubricante. De esta manera se muestra una justificación económica considerable respecto a lo que se puede arriesgar, al no contar con esta herramienta proactiva de prevención de fallas catastróficas en los componentes de los equipos. Ya que cada día más y más empresas tienden a solicitar apoyo técnico

en la materia del análisis de aceite, vibraciones y termografía, componentes fundamentales del mantenimiento proactivo y preventivo.

Otra función de gran importancia actualmente, tomando en cuenta la cantidad de empresas distribuidoras de cualquier cantidad de marcas de lubricantes, es la forma en que podemos determinar la calidad del lubricante, y esto se hace evaluando el lubricante mediante pruebas de rendimiento versus otras marcas lo que permite determinar, muchas veces, cual lubricante es el más óptimo y recomendable para ciertas operaciones en ciertos equipos.

Planteamiento de la problemática de incidencias de altos costos de logística y operación en el procesamiento de muestras de aceite.

Muchas de las Empresas en México tienen establecidos actualmente Programas de Análisis de Aceite. La mayoría de ellas utiliza el laboratorio de su proveedor de lubricantes y están limitados por el aspecto económico del costo de la muestra contra el consumo de lubricantes (generalmente no se cobra por el análisis de aceites si este es proporcionado por el proveedor de los mismos). En muchos de los casos los resultados del análisis, son recibidos semanas o meses después de la toma de la muestra y la información se vuelve irrelevante, ya que para ese momento, las condiciones del equipo ya son completamente diferentes, en muchos casos el aceite ya fue remplazado parcial o totalmente y en otros el equipo ya falló y fue reparado, perdiendo por completo la utilidad del análisis de aceite.

La razón para esto es simple, las compañías de lubricantes tienen laboratorios para asegurar la calidad de sus productos y esa es su principal tarea, el análisis de aceites usados es una tarea secundaria, aunque este sea un servicio que ofrecen a sus clientes. Generalmente no tienen los recursos humanos, equipos y materiales para trabajar volúmenes altos de muestras y sus sistemas de reporte no han sido modernizados y actualizados.

Cuando se habla de una empresa en donde su parque de maquinarias son críticas y potenciales para su proceso, hablando de la industria del petróleo o la industria de generación de energía, se hace necesario contar con un programa de mantenimiento proactivo enfocado a la supervisión de sus equipos, basados en el análisis de la condición de lubricantes, siendo esta una fuente de información severa para la toma de decisiones respecto a la operación de la maquinaria crítica.

Es de suma importancia para este tipo de industrias contar con resultados de análisis de aceites que sean confiables y sobre todo que el procesamiento de las muestras y los métodos utilizados para evaluar los parámetros físico químicos necesarios sean con base en normatividad ASTM e ISO aplicable⁴¹, cabe señalar que el tiempo de respuesta que nos brinda un laboratorio, es de suma importancia, puesto que entre más rápido contemos con un resultado del estado de los equipos críticos, más rápido será la toma de decisiones respecto a la maquinaria en cuestión.

⁴¹ Standard Test Method for Insolubles In Used Lubricating Oils”, ASTM Standard D 893-85, Amer. Soc. for Testing Materials, Philadelphia (1992).

En muchas ocasiones, este es un cuello de botella para las empresas que requieren tomar decisiones en cuestión de uno o dos días o incluso en horas, es por ello que se hace necesario contar con un laboratorio de análisis de aceite que tenga la capacidad de evaluar parámetros físico químicos correspondientes a un paquete básico de análisis de aceite, correspondientes a pruebas tales como viscosidad, color, punto de inflamación, código de limpieza, número ácido, espectroscopia de metales y como deseable un prueba de Ruler⁴² (colocar referencia al pie de página) que nos permita evaluar la cantidad de aditivos en el lubricante, y para aproximarse a un tiempo de vida útil del mismo.

Indicadores de altos costos actuales en un proceso de gestión de muestras con un laboratorio ubicado en el extranjero.

El procesamiento de muestras con un laboratorio confiable, no suele ser económico, es de suma importancia que el laboratorio que brinde el servicio de análisis de aceite, mantenga procedimientos específicos apegados a la normatividad requerida para cada una de las pruebas a correr. Los servicios ofertados por un laboratorio externo normalmente tienen un costo aproximado de entre 45 y 60 dólares (base 2012) dependiendo del tipo de análisis que sea solicitado.

⁴² ASTM D6810 – 13 Standard Test Method for Measurement of Hindered Phenolic Antioxidant Content in Non-Zinc Turbine Oils by Linear Sweep Voltammetry (2013).

Cabe mencionar que cuando no se cuenta con un laboratorio propio es necesario incurrir en varios costos en la logística del análisis de las muestras, dichos costos hacen referencia a:

1. Materiales
2. Mano de obra para la toma de las muestras
3. Traslados
4. Fletes
5. Costos de análisis con laboratorios outsourcing en el extranjero.

Estos costos impactan considerablemente en la logística del procesamiento de las muestras, así también como en los tiempos de entrega de resultados al cliente.

Actualmente los costos operativos en los que se incurren para procesar muestras con un laboratorio externo son los siguientes:

Parámetro	Costo en USD
Materiales	\$10 usd
Mano de obra	\$20 usd
Traslados	\$ 10 usd
Fletes	\$10 usd
Procesamiento	\$45 usd
Costo Total	\$95 usd

Con un tiempo de entrega al cliente final de 7 días hábiles.

Los altos costos generados y los largos tiempos de entrega superiores a los requeridos, hacen difícil hacer una correcta gestión de un programa de análisis de aceite para los clientes, ya que el margen de utilidad suele ser bajo.

Cuando se trata de procesar muestras de análisis que son demostraciones del servicio para el cliente, dicha inversión para generar la oportunidad de venta se traduce en una pérdida significativa, lo que impacta considerable la utilidad final.

Derivado de los puntos anteriores surge la necesidad de contar con un laboratorio local interno que permita procesar dichas muestras con una reducción significativa de costos operativos que sean propicios para llevar a cabo un incremento en la utilidad de venta de los análisis del aceite.

CAPITULO IV

EVALUACION DEL PROYECTO

Modelo General de implantación de un laboratorio para pruebas de paquete básico

Dentro de los requerimientos establecidos para la evaluación de un lubricante de acuerdo a la normatividad ASTM D-4378 “Prácticas Comunes para el Monitoreo de Lubricantes Minerales Tipo Turbina en Servicio para Turbinas de Gas y de Vapor”,⁴³ con el fin de contar con resultados fiables y de gran relevancia, se hace necesario llevar a cabo las siguientes pruebas correspondientes a un paquete básico de aceite y de acuerdo a la normatividad descrita a continuación.

- **Ensayo de Viscosidad @ 40°C y 100°C⁴⁴:** se encuentra normada por la ASTM D-445: Es la propiedad física individual más importante de un lubricante y se mide en SSU (Segundo Sybolt Universal), cSt (centiStoks) o grado SAE, dependiendo de la aplicación y del viscosímetro utilizado. El tiempo medido en el viscosímetro Capilar se puede traducir a la unidad deseada mediante tablas y ábacos de equivalencias. Además existe la viscosidad Dinámica o Absoluta de un lubricante, la cual se mide en

⁴³ Standar Test Method for Practice for In-Service Monitoring of Mineral Turbine Oils for Steam and Gas Turbines. ASTM D4378 - 08 Philadelphia (2008).

⁴⁴ Standar Test Method for Practice for In-Service Monitoring of Mineral Turbine Oils for Steam and Gas Turbines. ASTM D4378 - 08 Philadelphia (2008).

centiPoise, y se calcula como el cociente entre la Viscosidad Cinemática y la Densidad del Fluido.

Hay varios factores que afectan la viscosidad de un lubricante, como:

Dilución del producto o combustible

Polimerización causada por degradación

Agua y glicol presentes

Este ensayo se hace a modo de seguimiento, este valor no debe cambiar significativamente durante la vida útil del lubricante, si es que el lubricante ha sido seleccionado para su aplicación en cuanto a su desempeño. Si se notan cambios, serán derivados de algún tipo de degradación o contaminación del mismo. Una variación de la viscosidad es sinónimo de que la película de lubricante no tiene el espesor adecuado para evitar el contacto metal con metal, reduciendo la vida útil de la máquina en cuestión y provocando el desgaste acelerado de la misma. En ocasiones tomar medidas de viscosidad en dos temperaturas (generalmente en 100°C y en 40°C) es importante ya que esto permite el cálculo de un índice de la viscosidad (ν_i), y el cuál es una indicación de cómo la viscosidad del aceite varía con respecto a la temperatura. Esta prueba se lleva a cabo generalmente cuando la máquina debe funcionar a una temperatura elevada.

- **Densidad:** se encuentra normada por la ASTM D-4052. La densidad de un aceite lubricante se mide por comparación entre los pesos de un volumen

determinado de ese aceite y el peso de igual volumen de agua destilada, cuya densidad se acordó que sería igual a 1 (UNO), a igual temperatura. Para los aceites lubricantes normalmente se indica la densidad a 15°C.

- **Ensayo para determinar el Punto de Inflamación:** se encuentra normada por ASTM D-92: Por el método de COC – Cleveland Open Cup –es la temperatura mínima necesaria para que un lubricante desprenda vapores que, mezclados con el aire, se inflamen en presencia de una fuente ígnea, para volverse a extinguir rápidamente por sí sola. Es importante para evaluar el grado de contaminación y calidad del lubricante. Constituye un parámetro de seguridad operativa sobre todo en instalaciones de alto riesgo. No es la temperatura máxima de servicio, solo se indica por seguridad. Este método es aplicable a todos los productos petrolíferos con puntos de inflamación por encima de 79 °C y por debajo de 400 °C excepto los combustibles. El punto de inflamación puede indicar la posible presencia de compuestos volátiles e inflamables en un compuesto relativamente no volátil o inflamable, indicando la presencia de contaminantes como gasolinas.⁴⁵
- **Ensayo del Código de limpieza:** se encuentra normada por la norma ISO 4406 International Standard Organization: el más usual y común hoy en día. En base a la cantidad y tamaño de las partículas que se encuentran presentes

⁴⁵ Standard Test Method for Flash and fire point by Cleveland Open Cup, Standard D 92-12. Philadelphia (2012).

por mililitro de lubricante se designa un código de tres números. Este método permite determinar el conteo de partículas en tamaños de 4, 6 y 14 micras, arroja un resultado del número de partículas contenidas en un mililitro de aceite.⁴⁶

- **Ensayo de RULER** (contenido de aditivos en el lubricante): se encuentra normado por la ASTM D-6810 y ASTM D-6971. Esta técnica es una herramienta proactiva, ya que indica el estado del lubricante antes de que se produzcan cambios apreciables en el lubricante.

Por medio de la voltamperometría lineal de barrido se pretende determinar la concentración de antioxidantes (AO) en el seno de un lubricante en uso. Se representa el Voltaje vs. Corriente, obteniéndose como resultado una intensidad a un potencial dado. A ese valor de intensidad se le da el nombre de Rul Number (RN) adimensional y arbitrario. El tiempo de barrido del voltaje se da en segundos. La intensidad de corriente es directamente proporcional a la concentración de los antioxidantes presentes en el medio. Una vez conocida dicha concentración se podrá obtener el porcentaje de vida útil remanente que le queda al aceite (% RUL).

Para la determinación de los antioxidantes en un lubricante se utiliza un disolvente polar para extraer los compuestos polares (antioxidantes) mientras

⁴⁶ International Estándar ISO 4406 Hydraulic Fluids power – Fluids - Method For Coding The Level of Contamination by Solids Particles. 1999.

que los compuestos no polares (aceite base, tanto minerales como sintéticos, y aditivos no polares) se queden retenidos en el fondo.

- **Espectrometría de Metales:** permanece normada por la ASTM D 6595: Fundamentalmente es utilizado para analizar el contenido de metales en el aceite, básicamente se basa en calentar hasta carbonizar o quemar la muestra de lubricante, ya sea por una Chispa, una Flama o Rayos X; y analizar la Longitud de onda que emiten los diferentes tipos de metales y así determinar la cantidad que hay de cada uno. Se identifican metales de desgaste, metales aditivos y metales contaminantes.⁴⁷
- **Número total ácido (TAN):** normado por la ASTM D974: Este ensayo nos permite evaluar el grado de degradación oxidativa que tiene un lubricante, esto se refleja en el aumento de su acidez debido a la generación de compuestos de degradación u oxidación en un lubricante. Todos los lubricantes se degradan tarde o temprano con el uso y el tiempo, solo los de alta calidad y desempeño mantiene un tiempo superior en que esto ocurra, y por lo tanto aumentan su vida útil de servicio. Este método de ensayo se refiere a los procedimientos para la determinación de ácidos constituyentes de los productos petrolíferos y lubricantes solubles o casi solubles en mezclas de tolueno y propanol-2-ol. Es aplicable para la determinación de los ácidos

⁴⁷ Standard Test Method for Determination of Additive Elements, Wear Metals, and Contaminants in Used Lubricating Oils By Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry”, ASTM Standard D 5185-91, Amer. Soc. for Testing Materials, Philadelphia (1992).

cuya disociación constante en el agua son más grandes que 10^{-9} ; extremadamente ácidos débiles cuyas constantes de disociación son más pequeños que 10^{-9} no interfieran. ⁴⁸

- **Número total Básico TBN:** Este ensayo se utiliza para determinar el grado de agotamiento de los Aditivos Detergentes y Anti-Corrosivos de los aceites para Motores de Combustión Interna en uso. Para el caso de lubricantes nuevos, el TBN está relacionado con el nivel de reserva alcalina presente en el aceite, es decir que un alto TBN indicaría una mayor resistencia a la oxidación y viceversa. El proceso para determinar el TBN es inverso al utilizado para el TAN, ya que en éste caso el aceite está cargado de elementos básicos o alcalinos utilizados para contrarrestar el ataque ácido de los compuestos de azufre que se generan dentro de un motor de combustión interna. Por tal motivo durante el ensayo se agrega al aceite de prueba un elemento ácido, como Ácido Clorhídrico (HCl), para neutralizar dichos elementos básicos, y en relación a la cantidad agregada se puede saber la reserva de aditivos que tiene un aceite, y que es lo que mide el TBN. El resultado del TBN se expresa en miligramos de Hidróxido de Potasio por gramo de aceite de muestra [mgr (KOH) / gr]. El motivo de utilizar ésta unidad es por razones de uniformidad con las unidades utilizadas para medir el TAN, pero no significa que en la

⁴⁸ "Standard Test Method for Base Number of Petroleum Products by Potentiometric Perchloric Acid Titration", ASTM Standard D 2896-88, Amer. Soc. for Testing Materials, Philadelphia (1992).

prueba se utilice Hidróxido de Potasio si no el ácido clorhídrico por tratarse de la titulación de elementos tipo base en el lubricante.

- **Color:** dicha prueba se encuentra normada por la ASTM D 1500, Permite detectar por comparación visual el grado de pureza de un aceite lubricante nuevo o el grado de contaminación o degradación de uno usado, lo cual constituye un indicativo rápido acerca de la condición del lubricante.

El ensayo consiste en hacer pasar a través de la muestra de aceite un rayo de luz, y de acuerdo a la cantidad de luz que se pueda transmitir a través del aceite, se codifica el color, en concordancia con la escala de Colores de la ASTM: 1.0 - 1.5 - 2.5 - 3.5 - 5.5 - 6.5 - 8.0

El color 0.5 corresponde a un aceite claro transparente, y el 8.0 a un aceite oscuro. Si bien el color de un aceite no es un indicativo de mayor o menor calidad, si sirve como control de calidad en el proceso de fabricación de los mismos, para controlar la uniformidad. También sirve como referencia de comparación en el caso de aceites usados, ya que una variación del color, respecto del color original de nuevo, es un indicativo de que hubo algún cambio. Para ello se utilizan colorímetros para detectar contaminaciones o degradaciones del lubricante por oxidación, presencia de agua etc.; lo cual normalmente está asociada con un cambio de color característico.⁴⁹

⁴⁹ Standar Test Method for Test Method for ASTM Color of Petroleum Products (ASTM Color Scale), ASTM D1500 - 07 Philadelphia (2007).

Selección de equipos

Para llevar a cabo las pruebas antes mencionadas se hace necesario el uso de equipos especializados que cumplan con el procedimiento normativo de cada una de las pruebas citadas, es por ello que en base a una serie de investigaciones sobre las características operativas de varios equipos analíticos, se hizo una selección de acuerdo a las especificaciones operativas de cada uno de los equipos y a los costos de los mismos. Obteniendo el siguiente listado de equipos:

- Viscosímetro industrial con Calentador para medir viscosidades de aceite por encima de los 600 cTs, que permite la evaluación de la viscosidad @ 40 y 100° C en lubricantes de tipo industrial. Deberá cumplir con el procedimiento establecido mediante la norma ASTM D- 445 con un rango de operación de 20-810cSt a 50°C para aceites grado ISO y de 20 a 810 cTs a 40°C para aceites grado SAE5, deberá dar resultados en 3 minutos para la determinación de viscosidad a la temperatura requerida. Dicho equipo deberá permitir la evaluación de la Densidad de forma simultánea. Con toma de corriente a 220 volts. Deberá ser capaz de contar con una interfaz de resultados del equipo al programa de cómputo.
- Equipo medidor de Punto de inflamación: deberá determinar la temperatura mínima a la cual el lubricante comienza a despedir vapores que son volátiles en presencia de oxígeno y una fuente ígnea. El procedimiento de realización de la prueba deberá cumplir con lo establecido por la ASTM D 92 por el

método de Cleveland Open Cup. Deberá de proporcionar resultados en un tiempo de 2 minutos. Los resultados deberán ser expresados en Unidades °C y °F. Deberá contar con una interfaz que permita migrar los resultados del equipo de análisis al software del equipo de cómputo.

- Espectrofotómetro de plasma inductivamente acoplado. Deberá cumplir con la normatividad ASTM D 6585. Marca Agilent Technologies Mod. 4100 MP. Utilizado para la industria petroquímica, alimenticia, farmacéutica permite la evaluación de Elementos de desgaste, Elementos aditivos y Contaminantes. Evaluación de 21 elementos de forma simultánea. Su ventaja es la fácil operación y detección de metales rápidamente. No deberá usar flama ni cartucho de gases, ni equipos consumibles, deberá contar con el uso de Nitrógeno a través de un equipo de compresión de aire.
- Colorímetro por comparación de diversidad de color, deberá cumplir con la norma ASTM D-1500: permitirá evaluar el grado de coloración de los lubricantes industriales nuevos y en operación, y su variación respecto al tiempo y tendencias de operación.
- Contador de Partículas Electrónico Marca PAMAS Mod. S40, deberá cumplir con la normatividad ISO 4406, permitirá determinar el código de limpieza en lubricantes nuevos y en operación, de forma electrónica. Determinación del código de limpieza mediante normatividad ISO 4406 y el conteo de partículas

de 4, 6 y 14 micras, para la determinación completa del código de limpieza.

Determinará número de partículas y diámetro de las mismas.

- Equipo de medición RULER: deberá cumplir con las normatividad ASTM D-6810 deberá ser un equipo portátil de medición que permita llevar a cabo y cuantifica la disminución de aditivos en el lubricante, así como proporcionar el nivel de vida remanente de los lubricantes en operación, dando como resultado la caída o depleción de aditivos y el porcentaje de numero Ruler⁵⁰ según la normatividad requerida.

- La consola de pruebas para lubricantes industriales seleccionada es la FG-K1-120-KW-CH marca Kittiwake, permitirá evaluar, lubricantes de Turbinas, e Hidráulicos, sintéticos y de motor.

Deberá contener 3 celdas de pruebas, de manera intercambiables, permitiendo evaluar, contenido de agua por medio de método de titulación Karl Fisch Mediante norma ASTM D 1744 con un rango de medición de 0 - 6000 ppm. Así mismo deberá permitir el número total ácido en aceites sintéticos e industriales mediante titulación potenciométrica con base en normatividad ASTM D-674 con un rango de evaluación de TAN de 0 – 6 mgKOH/grAceite, y por ultimo deberá poderse evaluar la Cantidad de

⁵⁰ ASTM D6810 – 13 Standard Test Method for Measurement of Hindered Phenolic Antioxidant Content in Non-Zinc Turbine Oils by Linear Sweep Voltammetry (2013).

Insolubles reflejado en gr, para la determinación de lodos y suciedad dentro del lubricante.

- El equipo FTIR (Ferrografía Infrarroja por transformada de Furier) marca Kittiwake, permitira la detección de los siguientes valores normados en el lubricante minerales y sintéticos mediante las siguientes normatividades correspondientes a cada prueba:
 - Sulfatación – ASTM D7415-09
 - Oxidación – ASTM D7414-09
 - Nitración – ASTM D7624-10
 - Aditivos Antidesgaste – ASTM D7412-09
 - Hollín – ASTM D7686-11

Así también deberá permitir las siguientes determinaciones:

- Agua
- Diesel
- Contaminación con combustible
- Refrigerante Etilenglicol
- Agotamiento de aditivos Antioxidantes

Descripción General de los Requerimientos de infraestructura

Derivado de la designación de pruebas que son necesarias llevar a cabo en dicho laboratorio, es de suma importancia contar con un layout apropiado y adecuado para

la correcta operación y procesamiento de las muestras. Para lo cual se ha designado la siguiente propuesta de acuerdo a infraestructura, instalaciones y servicios requeridos:

Infraestructura

Un laboratorio debe adaptarse al espacio y a la inversión disponible por lo que la presente propuesta se basa en los requerimientos de una organización empresarial. El primer concepto que se estableció fue el de espacios abiertos pensados para una cómoda circulación del personal. Este diseño de espacios abiertos facilita que el laboratorio pueda adecuarse en el futuro a las nuevas necesidades y si es requerido una ampliación del mismo.⁵¹

La distribución diseñada es la siguiente:

- Recepción de muestras. Espacio diseñado exclusivamente para la recepción y el registro de las muestras que arribaran al laboratorio. En dicho espacio, las muestras serán recibidas, desempacadas, registradas en el sistema de control y procesamiento de muestras. Se encontrara en un lugar al inicio del laboratorio con acceso directo desde el exterior. Funciona como recepción de pacientes y entrega de resultados, en ella se comprueba que las etiquetas de las muestras son correctos, se introducen Para facilitar y mejorar el trabajo,

⁵¹ M. Lukas and D.P. Anderson. Laboratory Used Oil Analysis Methods. Tribology Data Handbook, CRC Press LLC, 1997.

contara con procedimientos escritos para la recepción de muestras y el registro de las pruebas solicitadas a cada una de las muestras.

- Zona de separación y distribución de muestras. Es la zona donde se procede a la verificación, clasificación y preparación de las muestras. Está contigua a la zona de recepción de muestras y se divide en dos subzonas: zona de recepción donde se depositan las muestras y zona de procesado donde se encuentran los equipos para procesamiento del análisis de cada muestra según la prueba requerida. Este proceso de distribución es un paso crítico, si no está bien organizado puede necesitar mucho tiempo y ser origen de numerosos errores por intercambio de muestras o mezclas de estas.
- La zona de procesamiento de las muestras: se ha diseñado como una sala que permite la distribución del trabajo en línea.
- Zona de almacén: contigua al área de procesamiento, dispone de una zona de almacenaje a temperatura ambiente con el fin de almacenar los restantes de muestras que ya han sido procesadas, por si existe la necesidad de alguna aclaración o de correr una prueba adicional a las que fueron requeridas desde origen.⁵²
- Área de interpretación: será designado un espacio suficiente para constar de mesa de trabajo, archivo de información técnica y terminal informática que

⁵² Anónimo. Manual de operación del laboratorio del centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del medio ambiente (CEPIS). Lima Perú 1995.

permite realizar el trabajo de vaciado de resultados al software informático de análisis de aceite, y donde se llevaran a cabo las interpretaciones de cada uno de los análisis obtenidos, para que finalmente sean enviados a cada uno de los clientes de manera electrónica.

Descripción General de los Requerimientos de Instalaciones

Instalaciones

- Aire acondicionado: la instrumentación y los equipos designados para que operen en dicho laboratorio requieren que la temperatura de trabajo no sobrepase los 25 °C por ello en la zona analítica se ha dispuesto un sistema de aire acondicionado. Es necesario tener en cuenta que su disposición en la zona analítica debe ser tal que su calor no interfiera con el funcionamiento de los aparatos. Así mismo será necesario la instalación de un sistema simple de extracción de gases para el espectrofotómetro, con el fin de que sean liberados todos los vapores de este equipo hacia el exterior. Usualmente conviene que la humedad sea la menor posible porque acelera la oxidación de los instrumentos; sin embargo, para lograr la habitabilidad del laboratorio no puede ser menor del 50% ni mayor del 75%. Si se llega a sobrepasar este último valor, la humedad puede afectar al laboratorio y al procesamiento de

las muestras, así como el resultado en la prueba de contenido de agua en el lubricante⁵³.

- Mobiliario: el mueble del laboratorio debe ser modular, suelto e intercambiable capaz de soportar toda la circuitería de cables y conexiones. Se ha diseñado de modo que el propio personal pueda intercambiar módulos de cajones o dejar huecos vacíos a conveniencia para el acomodamiento de material, reactivo y consumible.
- Energía eléctrica: es necesario asegurarse que la energía llegue a todos los lugares necesarios con tomas de corriente, para ello se ha diseñado un circuito eléctrico con suficientes contacto de toma de corriente situados a media altura tanto en las paredes como en el piso en las mesas de trabajo. La instalación eléctrica en el laboratorio debe estar diseñada en el proyecto de obra en función del tipo de instrumental utilizado y teniendo en cuenta las futuras necesidades del laboratorio.

Los conductores deben estar protegidos a lo largo de su recorrido y su sección debe ser suficiente par evitar caídas de tensión y calentamientos. Las tomas de corriente para usos generales deben estar en número suficiente y convenientemente distribuidas con el fin de evitar instalaciones provisionales.

⁵³ Wales Jimmy, Fundación Wikipedia , Inc. "Laboratorio" EE.UU <http://es.wikipedia.org/wiki/Laboratorio>, 10 de Octubre del 2012

Criterios de seguridad en la instalación eléctrica:

La conducción eléctrica del laboratorio se centralizará en un cuadro general cuya ubicación será tal que no comprometa la seguridad del personal por emplazamientos clasificados, áreas de paso, etc.

El cuadro deberá permanecer en todo momento cerrado y en buen estado, garantizándose un grado mínimo de protección.

Se extremará el control en la correcta identificación de los conductores, fase, neutro.

Las canalizaciones serán entubadas protegidas frente a factores mecánicos, químicos y térmicos.

Como se trabajara con líquidos inflamables la instalación eléctrica deberá de ser de seguridad aumentada o ignífuga.⁵⁴

- Iluminación: los puntos de luz, consisten en líneas de tubos fluorescentes, colocados de forma paralela en el techo lo largo del salón, de forma que la iluminación central sea suficiente para iluminar las mesas de trabajo. De este modo hemos suprimido una serie de instalaciones innecesarias y lámparas adicionales disminuyendo el riesgo de cortocircuitos y el consumo de electricidad.

⁵⁴ Universidad Carlos III. "Instalaciones Generales de un Laboratorio". Madrid España. <http://www.uc3m.es>. 30 de Septiembre del 2010.

- Agua potable: para el funcionamiento del laboratorio serán necesarios los siguientes tipos de consumo: suministro de agua del servicio potable, bidón de agua destilada para preparación de muestras y soluciones analíticas. Será necesario contar con una fuente de agua potable que permita producir la cantidad requerida en el momento que se desee, con la calidad adecuada y a bajo costo. Dentro del sistema de agua potable será necesario un sistema de lavado de material y adicional a esto un sistema de regadero ubicado dentro del laboratorio como lavado de emergencia.⁵⁵

Análisis de costos para el retorno de la Inversión

Estimación de costos

Parte medular del presente trabajo es verificar la factibilidad tanto técnica como económica para la implementación del laboratorio de análisis de aceite. Para este proyecto se requiere una inversión inicial de \$252, 311.24 dólares, derivado del siguiente estudio de costos y presupuestos.

Cabe mencionar que el presente estudio fue realizado en dólares, esto debido a que la mayoría de los costos asociados a los suministros del laboratorio, costos operativos, costos de referencia respecto a el laboratorio externo situado en el extranjero fueron obtenidos en dólares, así también derivado de las variaciones

⁵⁵ Giraldo Santocolomo, Laura. "Diseño de un Laboratorio de Combustibles" Universidad Nacional de Colombia. Colombia 2005

monetarias respecto al cambio de divisas con respecto al tiempo, se hace conveniente el tomar como base una moneda que mantenga estabilidad económica para evitar fluctuaciones considerables.

Primeramente se muestra el estudio de costos desglosado por rentas, mobiliario, sueldos, salarios y consumibles. El costo total anual asciende a \$37,584.44 Usd.

Los costos de operación son los gastos necesarios para que se realicen los análisis del aceite lubricante a los clientes que lo soliciten. Los costos de operación o de elaboración de las pruebas se pueden dividir en dos grandes categorías: costos directos o variables, que son proporcionales a la elaboración de las pruebas, como los materiales empleados, y los costos indirectos, también llamados fijos que son independientes de la elaboración de las pruebas. Refiriéndonos a los costos variables se encuentran: la mano de obra, mantenimiento, servicios y suministros.

En la siguiente tabla se muestra un desglose de gastos totales operativos del laboratorio, evaluados al primer año de instalación del mismo, así también a los años siguientes asociando también los costos por mantenimiento y calibración de los equipos y recursos utilizados.

Cotos Totales Anuales		
Costos	Monto Mensual	Monto Total Anual
Costos por ocupación de Espacio Físico		
Instalaciones 15% del valor de la oficina (Tomando como base una renta mensual de \$1852 usd)	\$ 277.78	\$ 3,333.33
Inversión inicial de Mobiliario		
Mesa de trabajo (2 mesas)	\$ 200.00	\$ 400.00
Escritorio	\$ 150.00	\$ 150.00
Sillas	\$ 100.00	\$ 100.00
Equipo de Computo	\$ 900.00	\$ 900.00
Consumibles		
Consumibles	\$ 1,455.65	\$ 17,467.78
Sueldos y Salarios		
Laboratorista	\$ 1,050.00	\$ 12,600.00
Mantenimiento de equipos		
Pamas 40	\$ 1,700.00	\$ 1,133.33
Cromatografo	\$ 1,500.00	\$ 1,500.00
Costos Operativos Anuales		\$ 37,584.44

A continuación se presenta el informe de determinación y evaluación de TIR y retorno de la inversión, evaluado a un período de 5 años. Contemplando solamente un ingreso de muestras del 50% es decir, tomando en consideración un panorama reservado de procesamiento de muestras anuales iguales a 100 unidades, y un costo de venta de 100 usd por muestra de paquete básico, no se consideran ingresos por análisis de muestras especiales como el RULER⁵⁶.

⁵⁶ ASTM D6810 – 13 Standard Test Method for Measurement of Hindered Phenolic Antioxidant Content in Non-Zinc Turbine Oils by Linear Sweep Voltammetry (2013).

Opcion 1 Cromatografo de Plasma y Ruler

Detalle	Período 1	Período 2	Período 3	Período 4	Período 5
Instalación	\$ 3,333.33	\$ 3,333.33	\$ 3,333.33	\$ 3,333.33	\$ 3,333.33
Mobiliario	\$ 1,500.00				
Reactivos y Materiales	\$ 17,467.80	\$ 17,467.80	\$ 17,467.80	\$ 17,467.80	\$ 17,467.80
Sueldos y Salarios	\$ 12,600.00	\$ 12,600.00	\$ 12,600.00	\$ 12,600.00	\$ 12,600.00
Mantto	\$ 2,633.33	\$ 2,633.33	\$ 2,633.33	\$ 2,633.33	\$ 2,633.33
Total Gastos operativos	\$ 37,534.46	\$ 36,034.46	\$ 36,034.46	\$ 36,034.46	\$ 36,034.46
Total Inversión de Equipos	\$ 214,726.80	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Total de Egresos	-\$ 252,261.26	-\$ 36,034.46	-\$ 36,034.46	-\$ 36,034.46	-\$ 36,034.46
Total de Ingresos 50% muestras	\$ 120,000.00	\$ 120,000.00	\$ 120,000.00	\$ 120,000.00	\$ 120,000.00
Flujo de Caja	-\$ 132,261.26	-\$ 48,295.72	\$ 35,669.82	\$ 119,635.36	\$ 203,600.90

Se determina que a partir del tercer año se comienzan a tener utilidades del proyecto, contemplando que todo el equipo adquirido ya estará liquidado, únicamente quedaran como egresos los gastos operativos, consumibles, mantenimientos anuales de los equipos y sueldos y salarios.

El TIR para este proyecto corresponde al 24% con un Valor presente neto de \$74,780.64 usd. Por lo que se determina como un proyecto viable y con expectativas de crecimiento sustanciales.

A continuación se presenta el desglose de costos de inversión de equipo, calculado un costo final con gastos de importación, impuestos y fletes de EXW almacén proveedor a las instalaciones del Laboratorio.

Inversión Total de Equipos Laboratorio México

Equipo	Costo	Impuestos e importación	Fletes	Total
Contador de partículas	\$ 17,000.00	\$ 19,720.00	\$ 500.00	\$ 20,220.00
FG-K1-120-KW-CH	\$ 17,520.00	\$ 20,323.20	\$ 500.00	\$ 20,823.20
FTIR	\$ 34,000.00	\$ 39,440.00	\$ 600.00	\$ 40,040.00
Colorímetro	\$ 1,200.00	\$ 2,712.00	\$ 200.00	\$ 2,912.00
Total de Inversión de Equipos				\$ 83,995.20

Opción del Cromatografo (puesto en MX)				
Cromatografo ICP	\$ 90,545.00	-	\$ -	\$ 90,545.00

Equipo de Medición Ruler EXW Houston TX				
Equipo RULER	\$ 34,385.00	\$ 39,886.60	\$ 300.00	\$ 40,186.60

La inversión total en equipos asciende a \$252, 311.24 dólares.

A continuación se presenta el desglose de gastos anuales que serán considerados en la operación del laboratorio, mismos que fueron tomados en cuenta para la determinación de la TIR y la evaluación económica y de factibilidad para la instalación del laboratorio.

Determinando que los costos mensuales estarán compuestos por gastos de oficina, consumibles y reactivos químicos, pago de mano de obra y pago de mantenimiento y calibración para los equipos pertenecientes al laboratorio dando como resultado un

monto mensual de gastos operativos de \$36,034.47 usd, tal como se desglosa en la presente tabla:

Gastos Totales Anuales		
Gastos	Monto	Total
Espacio Físico		
Instalaciones 15% del valor de la oficina	\$ 277.78	\$ 3,333.33
Reactivos		
Consumibles	\$ 1,455.65	\$ 17,467.80
Sueldos y Salarios		
Laboratorista	\$ 1,050.00	\$ 12,600.00
Mantenimiento		
Pamas 40	\$ 1,700.00	\$ 1,133.33
Cromatografo	\$ 1,500.00	\$ 1,500.00
Costos Operativos Anuales		\$ 36,034.47

Discusión en la solución de la problemática

Parte de la problemática actual en el área de negocio, son los gastos de logística y transporte, asociados al procesamiento de muestras con un laboratorio externo, parte de dicha problemática implica la transportación de la muestra por medio de una compañía de transporte aéreo, hacia el extranjero, lo que genera un gasto de movimiento de muestras considerable y además de presentar retrasos en la entrega de las muestras en el laboratorio, perdidas de los paquetes enviados, ruptura de las muestras al ser transportadas, todo ello implica que las muestras no lleguen al laboratorio para su análisis y lo más importante, que el cliente no cuente con sus

resultados en tiempo y forma, lo que finaliza en la perdida de la oportunidad de negocio y en la posible pérdida total del cliente por incumplimiento del servicio.

Otra parte de la problemática enfocada directamente a costos que presenta en el área de negocio de análisis de aceite, es que considera un gasto de ejecución y logística de muestreo conformado por varios parámetros con impacto financiero, tales como los materiales a utilizar, la mano de obra, los traslados, fletes y el procesamiento de la muestras con un laboratorio foráneo, según se desglosa a continuación:

Parámetro	Costo en USD
Materiales	\$10 usd
Mano de obra	\$20 usd
Traslados	\$ 10 usd
Fletes	\$10 usd
Procesamiento	\$45 usd
Costo Total	\$95 usd

El costo total por el procesamiento de cada una de las muestras, asciende a un valor neto de 95 usd.

Considerando los costos asociados de procesar una muestra en el laboratorio de la compañía, se complementan de la siguiente manera:

Parámetro	Costo en USD
Materiales	\$10 usd
Mano de obra	\$4.5 usd
Traslados	\$ 5 usd

Fletes	\$8 usd
Procesamiento	\$17.5 usd
Costo Total	\$45 usd

Se contemplan gastos por concepto de materiales de muestreo, mano de obra del laboratorista considerada de manera mensual, traslados y fletes desde el lugar que es tomada la muestra hasta el laboratorio de análisis, y por último el costo del procesamiento de la muestra considerando el costo fijo del laboratorio y los consumibles y reactivos químicos necesarios para llevar a cabo cada una de la pruebas que conjuntan un paquete básico de análisis de aceite, todos estos parámetros conjugan un total de \$45 usd por procesamiento de muestra.

Costos Operativos

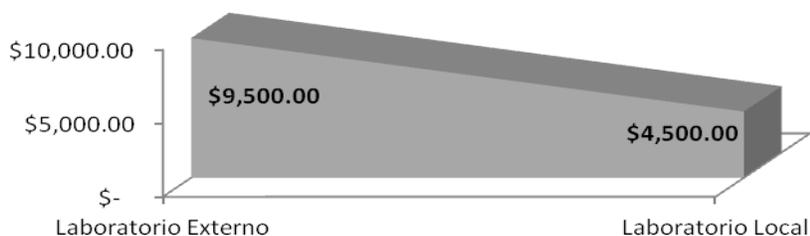


Figura 3: Presentación de costos operativos

Considerando los gastos efectuados derivados de los costos asociados por el procesamiento de las pruebas en un laboratorio local de una compañía, se calcula un porcentaje de ahorro del 52.6% que asciende monetariamente a un monto de \$50

usd por muestra. Considerando un panorama conservador de procesamiento de muestras mensuales para una cantidad de 100 unidades, el ahorro total neto ascendería a 5000 usd mensuales, que al año se traduciría en un monto de 60,000 usd. Es importante, hacer mención de que cada uno de los análisis que conforman el paquete básico, es vendido en promedio con una utilidad neta del 35% sobre el costo total de cualquier compañía, por lo que un paquete básico de análisis asciende en el mercado entre 146 usd y 150 usd en promedio.

El análisis de aceite es un nicho de mercado que se identifica en empresas grandes que consideran un presupuesto considerable en el mantenimiento proactivo de su parque de maquinarias, estas son principalmente empresas del ramo de generación de energía y procesamiento del petróleo, en donde los volúmenes de aceite que maneja la maquinaria de planta son grandes. Este tipo de empresas son un nicho de mercado para el área del laboratorio de análisis de aceite, y no implica ningún inconveniente en la inversión de un programa de monitoreo de aceite. Sin embargo empresas de tamaño mediano a pequeño en donde su parque de maquinaria es menor y los volúmenes de aceite que manejan sus equipos son pequeños, lo consideran un costo elevado, el hecho de invertir 150 usd de forma mensual en un análisis de aceite para sus equipos, esto hace un área de oportunidad en el mejoramiento de precios en el mercado de servicios de análisis de aceite para este tipo de empresas. Actualmente es imposible ofrecer un precio menor de venta

derivado de los costos asociados al procesamiento de la muestra, sin embargo, al llevar a cabo la implantación de un laboratorio dentro de la empresa, será posible llevar a cabo una disminución en el precio de venta del análisis enfocado a este tipo de empresas, ya que considerando un precio de venta entre 70 y 80 usd, esta impactaría directamente en un incremento en la cartera de clientes generando un área de negocio de servicios que permitiría llegar a empresas a las que actualmente no se llega derivado de la barrera del precio.

Por último, las muestras que son catalogadas como “demostraciones” (muestras gratuitas) que son ofrecidas a los clientes como parte de estrategia de ventas de un programa de análisis de aceite, así como para la venta de las otras tecnologías y soluciones tribológicas integrales de la empresa, generan un costo de gran impacto que es absorbido al 100% por la empresa y que no es facturable a ningún nivel, se mantiene un promedio de demostraciones de 30 unidades por mes, lo que genera un costo mensual que asciende a 2850 usd, lo que se traduce a un costo anual de 34 200 usd. De los cuales los costos operativos por muestra son de 45 usd si son analizadas en un laboratorio perteneciente a la empresa, lo que implica que este gasto se reduce a 1350 usd mensuales, es decir, 16 200 usd anuales con un ahorro de 18 000 usd al año.

Finalmente tomando en consideración el monto que representa la disminución del costo del inicial de 60, 000 usd más la disminución de costos procedentes del ahorro

de las muestras de demostración por 18, 000 usd, el costo total asciende a \$78,000 usd por año de ahorro total real.

Si consideramos este monto de ahorro a lo largo de los 5 años, periodo de tiempo al que fue proyectada la evaluación económica para la factibilidad de la implantación del laboratorio de análisis para la empresa en cuestión, la suma de montos totales de ahorro y la disminución de gastos asciende a \$390,000 usd reales.

CAPITULO V

PLAN DE OPERACIONES

Funciones generales del laboratorio

El laboratorio local México tendrá como objetivo principal ser un laboratorio de referencia en México y ser parte de un área de negocio de análisis de aceite en la empresa con el fin de lograr el mejoramiento de la calidad y funcionamiento de los servicios de la empresa.

Así mismo proveerá atención con análisis de aceite a los diferentes clientes que actualmente atiende la empresa. Proveerá servicio de análisis de aceite tanto a clientes externos como a clientes internos, es decir, personal interno de la empresa que requiera llevar a cabo servicios de análisis de aceite con el fin de promover una venta de las tecnologías tribológicas actuales o con el fin de llevar a cabo la evaluación de la condición del lubricante después de llevar a cabo un servicio de reacondicionamiento del lubricante a través de una filtración de alta eficiencia.

En las ocasiones que sean necesarias, de ser requerido la evaluación de una muestra de lubricante proveniente de otra de las filiales de la empresa, el laboratorio prestara el servicio de análisis de dicha muestra de ser así requerido.

El laboratorio estará diseñado con el fin de procesar muestras en un plazo máximo de 2 días hábiles a partir de que la muestra ingresa al laboratorio, ya que uno de los

principales objetivos de este proyecto es mejorar los tiempos de procesamiento de muestras y entrega de resultados finales a los clientes. Así también tendrá la posibilidad de fungir con un laboratorio de respuesta rápida, es decir, contara con la capacidad de operación y la capacidad técnica de proveer resultados de 2 a 4 horas a partir de que la muestra ingrese al laboratorio, esto con el fin de contar con una alternativa extra para el cliente que requiera contar con resultados en cuestión de horas para muestras que sean urgentes.

Dicho laboratorio tendrá la capacidad operativa de llevar a cabo las pruebas requeridas para complementar un análisis básico para determinar el diagnóstico de la condición fisicoquímica de los lubricantes, nuevos y en uso de los diferentes clientes con los que actualmente se cuenta.

Como se ha venido citando a lo largo del presente trabajo, nos referimos al análisis básico del lubricante a la determinación de las siguientes pruebas:

- Viscosidad @ 40 °C y 100° C ASTM D 445
- Densidad ASTM D 1298
- Flash Point ASTM D 92
- Código de limpieza ISO 4406
- Espectrometría de Metales ASTM D 6595
- Número total ácido TAN
- Número total Básico TBN (solo para aceites de motor)

- Color ASTM D 1500

Así también el laboratorio contara con la capacidad de la determinación de pruebas denominadas especiales, tales como:

- RULER (contenido de aditivos en el lubricante)⁵⁷
- FTIR (Ferrografía Infrarroja por transformada de Furier) misma que provee resultados de Niveles de Oxidación, Niveles de Sulfatación y Nitración, Contenido de Aditivos, y contaminación con combustibles.

Como parte de la división de negocio de análisis de aceite, el laboratorio brindara soporte técnico y operativo a través de capacitación a los clientes internos y externos de acuerdo a las pruebas suministradas, técnicas de análisis e interpretación de resultados.

Prioridades en la Ejecución de Actividades del Laboratorio

Considerando los objetivos del laboratorio, las actividades se deben ejecutar de acuerdo al siguiente orden de prioridad:

1. Procesamiento de muestras de cliente externos, la prioridad del procesamiento se llevara a cabo de acuerdo a la criticidad de la muestra y si es requerida como urgente.
2. Procesamiento de muestras de clientes externos con prioridad normal.

⁵⁷ ASTM D6810 – 13 Standard Test Method for Measurement of Hindered Phenolic Antioxidant Content in Non-Zinc Turbine Oils by Linear Sweep Voltammetry (2013).

3. Procesamiento de muestras de clientes internos.
4. Asesorías solicitadas por clientes externos.
5. Asesorías solicitadas por clientes internos.
6. Capacitaciones solicitadas directamente por la división de negocio.

Ubicación del laboratorio

Fueron determinadas 3 posibles sedes para llevar a cabo la implantación del laboratorio. Dichas localidades fueron determinadas con base en la localización estratégica, los costos fijos de cada una y la capacidad operativa de cada sede.

Para llevar a cabo la determinación de la localidad que será sede del presente laboratorio, se recurrió al análisis de factibilidad de instalación, para lo cual se llevó a cabo un estudio a través del programa de administración de operaciones POM PQ

La capacidad mínima requerida para el laboratorio es de 100 muestras mensuales. La evaluación fue considerada para 4 meses con el fin de considerar la correcta selección de la sede.

Se designaron las siguientes posibles sedes:

Sede	Capacidad Ordinaria/costo	Capacidad de tiempo extra/ costo	Capacidad de subcontratación	Holding Costo	Inventario	Costos Fijos
Salamanca	60 (\$4.5)	40 (\$9)	10 (\$11)	\$3	5	\$4000
Tula	100 (\$5)	20 (\$10)	5 (\$15)	\$2	10	\$4500
México D.F	50 (\$7)	45 (\$14)	25 (\$16)	\$5	5	\$5000

Obteniendo los siguientes resultados

Sede	Capacidad Total	Costo Fijos	Costo total	Optimo	Capacidad Excedida/muestras
Salamanca	100	\$4000	\$2,475		130
Tula	100	\$4500	\$1,950		110
México DF	100	\$5000	\$4,160		85

Derivado de la presente información, y de acuerdo al estudio de costos fijos y el costo óptimo total que se deriva de cada una de las posibles sedes, es evidente que la alternativa más óptima para la implantación del laboratorio es la Ciudad de Tula Hgo, puesto que mantiene costos fijos en un rango promedio, y el costo óptimo total calculado es el más bajo de las 3 opciones, considerando que nos da la posibilidad de cubrir un exceso de demanda en el procesamiento de muestras con un costo optimo total de \$1950 usd. Es importante destacar que estas 3 sedes fueron designadas por considerarse ubicaciones céntricas en el país si tomamos en cuenta que los envíos de muestras provendrán de las 4 zonas del país, norte, sur, sureste y noreste de acuerdo a la operación y los clientes de cada oficina.

Recepción de muestras y ejecución del análisis

El trabajo de analizar una muestra de aceite en uso, consiste en realizar un conjunto de ensayos de laboratorio con el fin de determinar la presencia de contaminantes en el aceite, su origen, así como de verificar eventuales cambios en las características del fluido, proporcionando la condición fisicoquímica del mismo.

Estas informaciones serán obtenidas y procesadas por personal especializado, utilizándose técnicas normativas vigentes.

1. Las muestras serán recibidas bajo notificación previa, con el fin de llevar a cabo un programa de ejecución diaria que permita la distribución de las horas laborables del personal, uso y minimización de servicios del laboratorio.
2. Las muestras serán recibidas y debidamente registradas en el sistema de datos.
3. Se les asignara un número de procesamiento de muestras, mismo que será registrado e identificado en el reporte general de resultados de dicha muestra.
4. Las muestras serán clasificadas por criticidad de procesamiento y llevadas en ese orden al área designada para cada uno de sus análisis.
5. Las muestras denominadas con prioridad normal deberán ser procesadas en un plazo máximo de 2 días hábiles.
6. Las muestras denominadas con prioridad urgente, deberán ser procesadas en un período de tiempo no mayor a 4 horas.
7. Cada uno de los resultados deberá ser registrado uno a uno en sus pruebas dentro de la bitácora diaria de análisis.
8. Una vez concluidas la totalidad de las pruebas los resultados serán registrados en el reporte general de resultados de análisis de aceite.

9. Se llevara a cabo la interpretación pertinente de los resultados con el fin de hacer la conclusión general de la condición fisicoquímica de la muestra y la condición general del equipo evaluado.
10. Como actividad el reporte final de resultados será enviado al cliente externo o interno según sea el caso.
11. Por último se llevara a cabo el cierre de la orden de procesamiento de muestras directamente en el sistema.
12. Los residuos de las muestras analizadas deberán ser resguardados por un plazo mínimo de 1 mes y máximo de 2 meses, con el fin de respaldar cualquier tipo de aclaración proveniente del cliente.

Mapa de Flujo del procesamiento de muestras

Registro

Generación de número de procesamiento

Muestra clasificada según criticidad

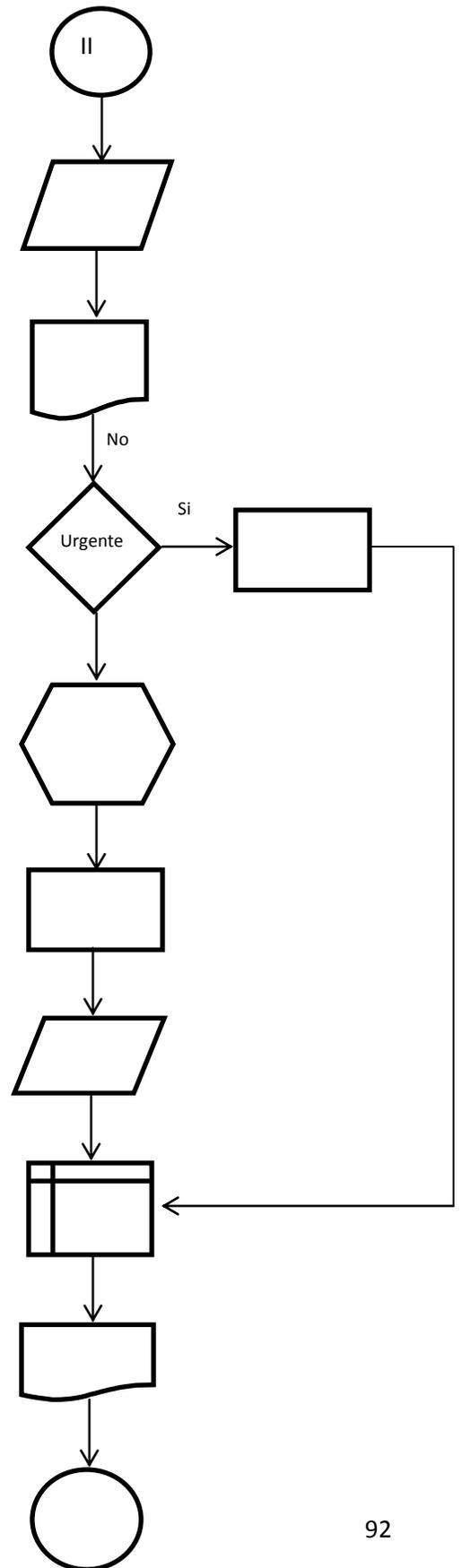
Preparación de la muestra

Procesamiento del análisis

Generación de Datos individuales

Almacenamiento de resultados

Generación de reporte de resultados



Localización de Áreas y distribución

Se ha mencionado anteriormente la evaluación de los requerimientos necesarios para llevar a cabo la implantación del laboratorio de análisis de aceite, con el fin de contar con todo el equipamiento necesario y con instalaciones adecuadas de acuerdo a los objetivos y funciones del laboratorio.

A continuación se presenta el modelo de distribución de áreas y localización del laboratorio.

En el siguiente esquema se muestra la distribución de mobiliario del área de procesamiento y almacenamiento de muestras.

Figura 4: Distribución del área de procesamiento de muestras

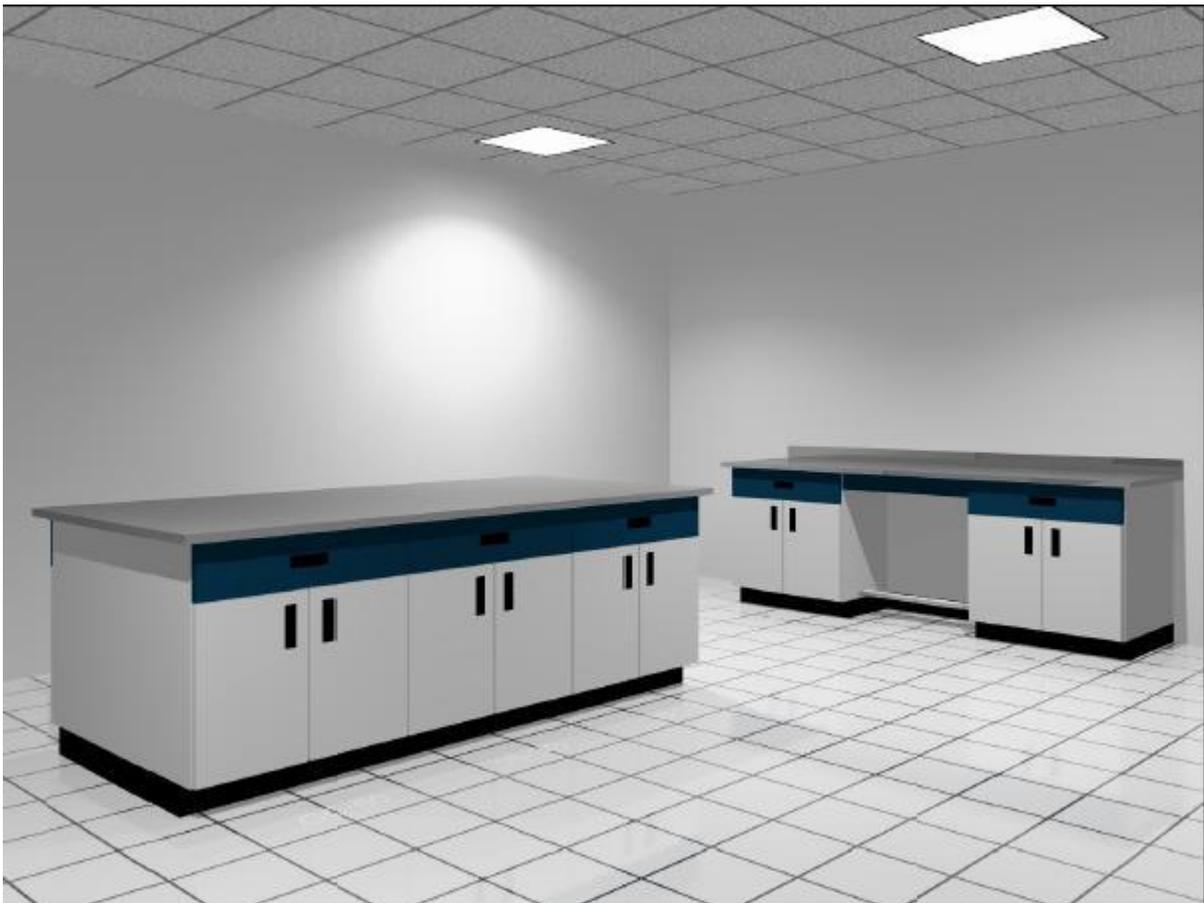




Figura 5: Plano de la distribución de Áreas del laboratorio

CAPITULO VI

Análisis de Resultados

El presente trabajo surge de la necesidad de mejora en la logística del procesamiento de análisis de aceite, como resultado de los altos costos de ejecución de muestras con un laboratorio situado en el extranjero, derivado de los costos que engloban los siguientes conceptos: Materiales y consumibles, mano de obra especializada, traslados, fletes y finalmente el procesamiento de la muestra, el costo global por muestra generado de los conceptos anteriores es de \$95 dólares por muestra, valor que es considerado elevado para posicionar la venta de un programa integral de monitoreo de aceite lubricante.

Los altos costos generados y los largos tiempos de entrega superiores a los requeridos, hacen difícil hacer una correcta gestión de un programa de análisis de aceite para los clientes, ya que el margen de utilidad suele ser bajo. Ocasionando bajos ingresos de ventas en la división y altos montos de egresos por pago de servicios con un laboratorio extranjero.

Cuando se trata de procesar muestras de análisis que son demostraciones del servicio para el cliente, dicha inversión para generar la oportunidad de venta se traduce en una pérdida significativa, lo que impacta considerable la utilidad final.

Con la implantación del laboratorio de análisis de aceite en México, costos considerables son reducidos significativamente, obteniendo un valor de

procesamiento por muestra de aceite de \$45 usd, contemplando gastos por concepto de materiales de muestreo, mano de obra del laboratorista considerada de manera mensual, traslados y fletes desde el lugar que es tomada la muestra hasta el laboratorio de análisis, y por último el costo del procesamiento de la muestra considerando el costo fijo del laboratorio y los consumibles y reactivos químicos necesarios para llevar a cabo cada una de la pruebas.

A continuación se resumen los costos comparativos de acuerdo a la disminución de costos

Parámetros	Laboratorio Extranjero	Laboratorio Local
Costo por muestra	\$95 usd	\$45 usd
% de Ahorro	-	52.6 %
Valor monetario de ahorro por muestra	-	\$50 usd
Valor total por 100 muestras mensuales	-	\$5,000
Valor total Anual de ahorro	-	\$ 60, 000

Por último, las muestras catalogadas como demostraciones que son ofrecidas a los clientes como puerta de entrega para la venta de la tecnología de análisis de aceite y para la venta de las otras tecnologías y soluciones tribológicas de la empresa.

	Laboratorio Extranjero	Laboratorio Local
Numero de muestras Demo	30 muestras mensuales	
Costo por muestra	\$95	\$45
Costo total mensual	\$2850	\$1350

Costo total anual	\$34, 200	\$16,200
Ahorro total	\$18,000 dólares anuales	

Finalmente tomando en consideración los montos derivados de la comparativa de ambos laboratorio obtenemos lo siguientes:

Ahorro total por ejecución de muestra	\$60, 000
Ahorro total por ejecución de muestra Demo	\$18, 000
Total Anual	\$78, 000

Por otra parte la inversión considerada para llevar a cabo la implantación del laboratorio está valorada en un monto total de \$252, 311.24 usd mismo monto que ampara, la instalación, infraestructura y compra de equipos para llevar a cabo el procesamiento de muestras de aceite, así como la mano de obra.

De acuerdo al estudio realizado, se determinó que el presente proyecto mantiene una TIR de 24% con un valor presente neto de \$74,780.64 usd.

CONCLUSIONES

1. Como se observó a lo largo del presente trabajo, existe una línea muy delgada entre la confiabilidad de un equipo de producción y las posibles fallas que pueden presentarse en él. Un paro no programado trae consigo un alto número de costos asociados al mantenimiento correctivo del equipo.
2. Como parte fundamental del mantenimiento predictivo y proactivo de los equipos de proceso, se asocia el análisis de aceite, análisis de vibraciones, y el análisis termografico, estos 3 elementos son pilares importantes para prevenir cualquier tipo de falla del equipo de proceso.
3. El sistema de lubricación es el principal elemento que permite verificar los síntomas de una posible falla. El análisis de aceite verifica la condición general del equipo y permite evaluar mediante cuidadosas técnicas normativas la condición fisicoquímica del lubricante.
4. Como fue analizado con anterioridad, el laboratorio local de análisis de aceite tendrá como función principal mejorar significativamente la logística y el procesamiento de muestras de aceite, ocasionando con esto una disminución significativa en el costo del procesamiento de estas muestras con un laboratorio extranjero, lo que permitirá situar la venta del programa de monitoreo de aceite a un costo menor y con mayor facilidad, así mismo permitirá llegar a clientes pequeños y medianos a los que actualmente es

imposible llegar derivado de los altos costos que se generan, lo que traerá consigo un incremento significativo en la cartera de clientes de la división de negocio.

5. El monto total de la inversión inicial será de \$252, 311.24 usd con una TIR del 24% y un Valor Presente Neto de \$74,780.64 usd.
6. El retorno de la inversión está calculado para el tercer año de operación del laboratorio, cabe mencionar que el estudio fue realizado para un período de 5 años.
7. De acuerdo al cálculo de ahorros establecido bajo este esquema se verifica un ahorro sobre el costo actual de procesamiento del 52.6% con un valor monetario de 50 usd por muestra procesada. Puesto que del costo actual de \$95 usd por muestra se disminuye el costo de procesamiento a \$45 usd por muestra.
8. Si se considera un procesamiento mínimo al actual de 100 muestras mensuales se deriva un ahorro de \$5000 usd al mes y llevado a un proporción anual un ahorro de \$60,000 usd.
9. Derivado de las muestras ofrecidas como demostraciones, el 100% del costo es absorbido por la empresa, lo que se traduce a la disminución de utilidades, sin embargo, con la implantación del laboratorio y con un valor de \$45 usd por muestra, procesando en promedio 30 muestras mensuales se verifica un ahorro de \$18,000 usd anualmente.

10. Se estima la disminución total de costos de \$78,000 anuales.

11. El laboratorio de análisis de aceite se postula como un proyecto viable tanto económica como técnicamente.

12. Dentro de los beneficios puntuales que traerá consigo la implantación del laboratorio se encuentran:

Disminución de costos operativos de muestras procesadas por un laboratorio de outsourcing.

Disminución de costos ocasionados por la logística de envío de muestras.

Disminución de costos en Muestreos por demostración.

Mejora de tiempo de entrega de Resultados a clientes externos e internos.

Disminución de pérdidas y daños a muestras por envío de las mismas

Aumento de la utilidad de venta sobre la muestra de un 35% a 60%.

BIBLIOGRAFIA

1. Abelar Aquino Carlos Eduardo – Estudio de Evaluación y diseño para la implementación de un laboratorio de calidad especializado en biodiesel; Octubre 2008.
2. Albarracín Aguilón, Pedro. Tribología y Lubricación. Tomo I. 4ª Edición. Medellín, Colombia 2012.
3. Anónimo. Manual de operación del laboratorio del centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del medio ambiente (CEPIS). Lima Perú 1995.
4. Anónimo. Guía de los fundamentos para la administración de proyectos PMBOK. Cuarta Edición. Project Management Institute, Inc. Pensilvania 2008.
5. Catalán Vera Harry Alan Roberto. Propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para la industria de café quetzal, Guatemala, Octubre 2009.
6. Drew D. Troyer - Noria Corporation - “Effective Integration of vibration analysis and Oil Analysis” Maintenance Technology Magazine November 99.
7. Duffuaa Raouf Dixon. Sistema de mantenimiento: Planeación y control, México: Editorial Limusa Wiley, 2006.
8. Giraldo Santocolomo, Laura. “Diseño de un Laboratorio de Combustibles” Universidad Nacional de Colombia. Colombia 2005.

9. G. Pignalosa, C. Mantero, L. Della Mea, R. Mosquera. Mantenimiento predictivo en base al análisis de aceite lubricante. Jornadas Técnicas de END, Montevideo, 24-26 setiembre 2003.
10. Gutiérrez Pulido, Humberto. Calidad total y productividad. 2ª edición. México: Editorial McGraw Hill, 2005.
11. International Estándar ISO 4406 Hydraulic Fluids power – Fluids - Method For Coding The Level of Contamination by Solids Particles. 1999.
12. James E Berry – Technical Associates of Charlotte- Good Vibes about Oil Analysis - Practicing Oil Analysis Magazine Nov-Dec 99.
13. Jay Heizer, Barry Render. Operations Manegement. Décima Edición. Editorial Pearson. New Jersey 2011.
14. Linares Omar. Generalidades de la Tribología Fundamentos de la Lubricación, Fricción y el Desgaste. Santa Cruz, Bolivia. 2009.
15. Maxwell H. & B. Johnson - “Integration of Lubrication and Vibration analysis technologies” – Palo Verde Nuclear Generations Station.
16. M. Lukas and D.P. Anderson. Laboratory Used Oil Analysis Methods. Tribology Data Handbook, CRC Press LLC, 1997.
17. Prof. Daniel Starc – Ing. Julio A. Rubio Lopez, “Entendiendo la lubricación y los lubricantes” UTN Cordoba 2007.

18. Salazar Pérez Carlos Manuel. Diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para sistemas de aire en plantas de extracción de líquidos de gas natural. Venezuela 2009.
19. Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio by Sonic Resonance; designation: E 1875 – 00. ASTM International, 2000. 7 p.
20. ASTM D1298 - 12b Standard Test Method for Density, Relative Density, or API Gravity of Crude Petroleum and Liquid Petroleum Products by Hydrometer Method. (2012)
21. Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus, and Poisson's Ratio by Impulse Excitation of Vibration; designation: E 1876 – 07. ASTM International, 2007. 15 p.
22. Standard Test Method for Determination of Additive Elements, Wear Metals, and Contaminants in Used Lubricating Oils By Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry”, ASTM Standard D 5185-91, Amer. Soc. for Testing Materials, Philadelphia (1992).
23. “Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids”, ASTM Standard D 445-88, Amer. Soc. for Testing Materials, Philadelphia (1992).

24. "Standard Test Method for Water in Petroleum Products and Bituminous Material by Distillation", ASTM Standard D 95-83, Amer. Soc. for Testing Materials, Philadelphia (1992).
25. "Standard Test Method for Base Number of Petroleum Products by Potentiometric Perchloric Acid Titration", ASTM Standard D 2896-88, Amer. Soc. for Testing Materials, Philadelphia (1992).
26. "Standard Test Method for Diesel Fuel Diluent in Used Diesel Engine Oils by Gas Chromatography", ASTM Standard D 3524-90, Amer. Soc. for Testing Materials, Philadelphia (1992).
27. Standard Test Method for Insolubles In Used Lubricating Oils", ASTM Standard D 893-85, Amer. Soc. for Testing Materials, Philadelphia (1992).
28. Standard Test Method for Flash and fire point by Cleveland Open Cup, Standard D 92-12. Philadelphia (2012).
29. Standar Test Method for Practice for In-Service Monitoring of Mineral Turbine Oils for Steam and Gas Turbines. ASTM D4378 - 08 Philadelphia (2008).
30. Standar Test Method for Practice for In-Service Monitoring of Lubricating Oil for Auxiliary Power Plant Equipment. ASTM D6224-02 Philadelphia (2002).
31. Standar Test Method for Practice for Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity) ASTM D445 - 12 Philadelphia (2012).

32. Standar Test Method for Test Method for ASTM Color of Petroleum Products (ASTM Color Scale), ASTM D1500 - 07 Philadelphia (2007).
33. Standard Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration, ASTM D674-11a (2011).
34. ASTM D2896 - 07a Standard Test Method for Base Number of Petroleum Products by Potentiometric Perchloric Acid Titration. (2007)
35. ASTM D1744-92 Standard Test Method for Determination of Water in Liquid Petroleum Products by Karl Fischer Reagent (Withdrawn 2000).
36. ASTM D6971 – 09 Standard Test Method for Measurement of Hindered Phenolic and Aromatic Amine Antioxidant Content in Non-zinc Turbine Oils by Linear Sweep Voltammetry. (2009).
37. ASTM D6810 – 13 Standard Test Method for Measurement of Hindered Phenolic Antioxidant Content in Non-Zinc Turbine Oils by Linear Sweep Voltammetry (2013).
38. Tom Alisson, Fentress Amy “STP1536 In-Service Lubricant and Machine Analysis, Diagnostics, and Prognostics” ASTM International January 2011.
39. Trujillo, Gerardo. Lube-Tips Noria. “Selección de un aceite para Turbinas”. Celaya Guanajuato, México. <http://www.lube-tips.com/>. Noviembre 2011
40. Wales Jimmy, Fundación Wikipedia, Inc. “Los Lubricantes” EE.UU <http://es.wikipedia.org/wiki/Lubricante>, 23 de Septiembre del 2013.

41.Wales Jimmy, Fundación Wikipedia , Inc. “Laboratorio” EE.UU
<http://es.wikipedia.org/wiki/Laboratorio>, 10 de Octubre del 2012

42.Wales Jimmy, Fundación Wikipedia , Inc. “Tribología” EE.UU
<http://es.wikipedia.org/wiki/Tribología> 20 de Julio del 2012