



**Universidad
de Holguín**

FACULTAD
DE INGENIERÍA
DPTO. INGENIERÍA MECÁNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA EL
ANÁLISIS DE GRASAS LUBRICANTES**

Trabajo de Diploma

AUTOR: Ramón Álvarez Aguilera

TUTORES: M. Sc. Pedro Luis Pérez Font

Ing. Alexis Vega Jiménez

HOLGUÍN, 2021



**Universidad
de Holguín**

FACULTAD
DE INGENIERÍA
DPTO. INGENIERÍA MECÁNICA

RESUMEN

El presente trabajo se enfoca en el diseño y construcción de un dispositivo para el análisis de grasas lubricantes. El objetivo de este documento será diseñar y construir un dispositivo para el análisis de las grasas lubricantes. Los resultados obtenidos arrojaron las siguientes conclusiones: la determinación de posibles técnicas y métodos rápidos de diagnóstico a emplear en el análisis de las grasas lubricantes, el diseño y construcción del dispositivo para el análisis de grasas. Logrando de esta forma alcanzar las habilidades necesarias para la realización de los laboratorios del Tema IV Técnicas de Monitorización de Partículas, en la asignatura Tecnologías Proactivas y de Diagnóstico de la Disciplina de Mantenimiento. Además de conocer la condición operativa de la grasa lubricante y el estado técnico de los pares tribológicos que interactúan con ella.

Palabras claves: dispositivo, análisis y grasas lubricantes.

S U M M A R Y

The present work focuses on the design and construction of a device for the analysis of lubricating greases. The objective of this document will be to design and build a device for the analysis of lubricating greases. The results obtained yielded the following conclusions: the determination of possible techniques and rapid diagnostic methods to be used in the analysis of lubricating greases, the design and construction of the device for the analysis of greases. Achieving in this way to achieve the necessary skills to carry out the laboratories of Topic IV Particle Monitoring Techniques, in the subject Proactive Technologies and Diagnosis of the Maintenance Discipline. In addition to knowing the operating condition of the lubricating grease and the technical status of the tribological pairs that interact with it.

Keywords: device, analysis and lubricating greases.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1. FUNDAMENTACION TEÓRICA	4
1.1. La lubricación como elemento fundamental del mantenimiento	4
1.1.1. Clasificación y funciones de los lubricantes. Criterios para su selección.	5
1.1.2. Propiedades de los lubricantes.	9
1.2. Análisis de lubricantes.	11
1.2.1 Técnicas de análisis de lubricantes.	12
1.2.2. Normas existentes para el análisis de lubricantes.	16
1.3 Dispositivos y herramientas para el análisis de las grasas lubricantes.	17
CAPITULO II. Diseño y construcción de un dispositivo para el análisis de las grasas lubricantes	22
2.1 Diseño del dispositivo para el análisis de las grasas lubricantes.	22
2.2 Construcción del dispositivo para el análisis de las grasas lubricantes.	24
2.3 Procedimiento para realizar el laboratorio sobre monitorización de partículas a través del análisis de las grasas lubricantes.	28
CONCLUSIONES	37
RECOMENDACIONES	38
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	

INTRODUCCIÓN

El desarrollo del diagnóstico técnico dentro del mantenimiento a cobrado auge en los últimos 20 años, dentro de las técnicas de diagnóstico más usadas y que mayor información nos brindan acerca del estado técnico de los equipos, es el análisis de aceites lubricantes, sin embargo estos análisis por lo general requieren de instrumentos y equipos especializados disponibles en laboratorios, lo cual representa un inconveniente de tiempo y dinero para conocer el resultado del análisis.

No obstante, existen varios equipos portátiles de diagnóstico rápido que permiten conocer de forma general el grado de contaminación y/o degradación del lubricante.

En la industria cubana los análisis de aceites y en especial de las grasas lubricantes se encuentran muy deprimidos debido a las escasas tecnologías para desarrollarlos y en muchas empresas se carece totalmente de estos instrumentos tan necesarios en la gestión del mantenimiento, de igual forma ocurre en las universidades del país.

Conocer cómo aplicar un análisis de las grasas lubricantes es esencial en la formación del Ingeniero Mecánico. En el plan de estudio de la Carrera de Ingeniería Mecánica está contemplada la Disciplina de Mantenimiento y dentro de ella la asignatura Tecnologías Proactivas y de Diagnóstico.

Sin embargo, no se cuenta con los instrumentos necesarios para desarrollar actividades de laboratorio relacionadas con el análisis de las grasas lubricantes. Siendo esta la situación problemática de la presente investigación.

Problema de investigación:

¿Cómo diseñar y construir un dispositivo para el análisis de grasas lubricantes?

Objeto de investigación:

La monitorización de partículas.

Campo de acción:

El análisis de grasas lubricantes como técnica de diagnóstico.

Hipótesis:

El diseño y construcción de un dispositivo para el análisis de las grasas lubricantes y la definición de los pasos para su empleo, permitirán alcanzar las habilidades propuestas para el Tema IV Técnicas de Monitorización de Partículas, en el programa analítico de la asignatura Tecnologías Proactivas y de Diagnóstico de la Disciplina de Mantenimiento.

Objetivo general:

Diseñar y construir un dispositivo para el análisis de las grasas lubricantes.

Objetivos específicos:

1. Fabricar un dispositivo que permita conocer el estado de la grasa lubricante y el estado técnico de los pares tribológicos de las máquinas.
2. Elaborar los pasos necesarios para realizar el laboratorio sobre monitorización de partículas a través del análisis de las grasas lubricantes.

Tareas de investigación:

1. Realizar una búsqueda bibliográfica sobre los siguientes temas:
 - a) Lubricación.
 - b) Técnicas de análisis de lubricantes
 - c) Normas para el análisis de lubricantes
2. Diseñar un dispositivo para el análisis de las grasas lubricantes.
3. Fabricar un dispositivo para el análisis de las grasas lubricantes.
4. Elaborar los pasos para el laboratorio sobre monitorización de partículas.
5. Elaborar el informe final.

Métodos de investigación:**Métodos teóricos:**

Análisis y síntesis: Con el objetivo de analizar la bibliografía estudiada y de ella sintetizar en los aspectos más importantes.

Histórico – Lógico: Se aplicó para establecer el estado del arte del tema de investigación, como un marco teórico referencial, permitiendo conocer qué se ha investigado sobre el tema objeto de estudio, y los aspectos generales que se abordan.

Métodos Empíricos:

Revisión de documentos: Para caracterizar el objeto de estudio.

Entrevistas: Entrevistas y encuestas realizadas a los especialistas de la empresa cubana de lubricantes UEB CUBALUB Holguín y dirección nacional CUBALUB Habana, lo cual contribuyó con la caracterización de la problemática estudiada.

Experimental: Se logrará la obtención de información validada que permita cuantificar los resultados obtenidos.

Consulta de experto: Para obtener información relacionada con los resultados del análisis de lubricantes.

Resultados esperados:

El diseño y construcción de un dispositivo para el análisis de las grasas lubricantes y la definición de los pasos para su empleo permitirán alcanzar las habilidades necesarias para la realización de los laboratorios del Tema IV Técnicas de Monitorización de Partículas, en la asignatura Tecnologías Proactivas y de Diagnóstico de la Disciplina de Mantenimiento. Además de conocer la condición operativa de la grasa lubricante y el estado técnico de los pares tribológicos que interactúan con ella.

CAPITULO 1. FUNDAMENTACION TEÓRICA.

El objetivo de este primer capítulo es realizar una búsqueda de la información relacionada con diferentes técnicas y métodos de estudio aplicado al análisis de los lubricantes para mejorar el uso del mismo y lograr prevenir futuros desgastes de los pares tribológicos existentes en las máquinas.

1.1. La lubricación como elemento fundamental del mantenimiento.

La lubricación es la reducción de la fricción, roce o desgaste que se genera en las superficies de cuerpos en contacto, que pueden encontrarse en reposo o con movimiento relativo, por la aplicación de algún elemento que se denomina lubricante. (Días, 2006)

El propósito de la lubricación es la separación de dos superficies con deslizamiento relativo entre sí de tal manera que se produzca el menor desgaste posible o daño en ellas. Lo que se pretende es que el rozamiento en el proceso de deslizamiento sea lo 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 dicho desgaste. (Terradillos y Bilbao, 2004)

Según lo planteado en (Linares, 2005). La lubricación tiene como propósito fundamental lograr la separación entre dos superficies con deslizamiento relativo entre si y lograr de esta forma el menor desgaste posible al reducir la fricción entre ellas.

El lubricante debe formar una película separadora, con capacidad de carga, entre los elementos de un rodamiento, que efectúen un movimiento relativo de rodadura o de deslizamiento, para conseguir así un rozamiento y un desgaste pequeños. (Rodavigo.S.A. Recuperado de <http://www.rodavigo.net>)

El desgaste es la mayor causa de la pérdida de rendimiento de un mecanismo por lo que cualquier reducción en el desgaste podría resultar en considerables beneficios. La fricción es la principal causa de desgaste y disipación de energía. Se estima que un tercio de la energía que se usa en todo el mundo es invertida en superar la fricción entre superficies, por lo que resulta de vital importancia la mejora del proceso de fricción. La lubricación es la manera más efectiva de controlar y reducir tanto el desgaste como la fricción. (Stachowiak y Batchelor, 1993)

El desgaste es el mayor causante que una máquina baje considerablemente su desempeño y cualquier prolongación en el desgaste es un ahorro en los gastos de las maquinarias. La fricción es la principal causa de desgaste y disipación de energía. Se

pueden obtener grandes ahorros al mejorar el control sobre la fricción. Se tiene estimado que un tercio de la energía del mundo utilizada hoy en día, es necesaria para neutralizar la fricción de una manera u otra. La lubricación es un medio efectivo para disminuir el desgaste y controlar la fricción. (Sarti, 2009)

1.1.1. Clasificación y funciones de los lubricantes. Criterios para su selección.

Los lubricantes son sustancias colocadas entre dos superficies en movimiento para disminuir la fricción y el desgaste entre ellas. Según (Augusto, 1999) estos pueden clasificarse en dos grandes grupos fundamentalmente:

1. Según su génesis:

- Orgánicos: De origen animal o vegetal.
- Minerales: Derivados del petróleo.
- Sintéticos: A partir de fluidos sintéticos (Siliconas, Polifenil, Esteres de fosfatos)

2. Según su estado físico:

- Líquidos: Los aceites.
- Semisólidos: Las grasas.
- Sólidos: Grafito, Disulfuro de Molibdeno, mica, talco.
- Gaseosos: El aire, Helio, Neón.

Según (Linares, 2009). Un lubricante no solo es utilizado para formar una capa límite que reduzca la abrasión o desgaste entre las partes móviles de un equipo, estas sustancias tienen más funciones que la anterior, tales como:

- Reducción de la fricción.
- Reducción del desgaste.
- Dispersión del calor.
- Limpiar, recibir y contener contaminantes.
- Prevención de la oxidación.
- Transmisión de potencia.

➤ **Lubricación:** La principal función de un lubricante es simplemente hacer más fácil que una superficie se deslice sobre otra. Esto reduce la fricción, el desgaste y ahorra energía.

➤ **Refrigeración:** Cualquier material que reduzca la fricción actuará como un refrigerante, simplemente, porque reduce la cantidad de calor generada cuando dos superficies rozan una contra otra.

- Protección contra la corrosión: Los lubricantes deben proteger contra la corrosión en dos formas diferentes. Deben cubrir la superficie y proveer una barrera física contra el ataque. Además, muchos lubricantes reaccionan con los químicos corrosivos para neutralizarlos.
- Mantenimiento de la limpieza: Los lubricantes ayudan a mantener las máquinas limpias y operando eficientemente, lavando los contaminantes de los mecanismos lubricados. Algunos lubricantes, como los de motor, contienen además aditivos que suspenden las partículas y dispersan los contaminantes solubles en el aceite.
- Transmisión de Potencia: Los aceites hidráulicos son usados para la transmisión y control de la potencia al igual que la lubricación de trabajo del sistema hidráulico.

En la tabla 1.1, se muestran algunos tipos de grasas lubricantes en función del agente espesante.

Tabla 1.1. Clasificación de grasas lubricantes en función del agente espesante. (Martín, 2010)

GRASAS	ESPESANTE SÓLIDO	PRINCIPALES PROPIEDADES
Grasa de Calcio	Estearato de calcio hidratado	<p>De aspecto mantecoso y no fibroso.</p> <p>Temperatura de trabajo moderadas, inferiores a 80 °C (Presenta agua en su composición).</p> <p>No posee una alta estabilidad mecánica, pero si buena resistencia al agua.</p> <p>Grasa común de bajo precio para la lubricación de maquinaria agrícola, coches, camiones y autobuses.</p> <p>Maquinaria en general que trabaje a poca velocidad</p>
Grasa de Sodio	Jabón metálico de sodio	<p>Estructura fibrosa.</p> <p>Utilización en ambientes secos o con poca humedad (pueden emulsionar con el agua).</p> <p>Temperatura de trabajo inferior a 120 °C.</p> <p>Más estables mecánicamente que las grasas de calcio y aluminio.</p> <p>Presenta una estabilidad a la cizalla aceptable y su resistencia a la oxidación es mejorable con el uso de aditivos.</p> <p>Se utiliza en sistemas de transmisión, cajas de engranajes, cojinetes de bolas, etc.</p>

Tabla 1.1. Clasificación de grasas lubricantes en función del agente espesante. (Martín, 2010).

Continuación.

GRASAS	ESPESANTE SÓLIDO	PRINCIPALES PROPIEDADES
Grasa de Aluminio	Estearato de aluminio	De aspecto fibroso y muy adherente. Temperatura de trabajo inferior a 80 °C. Resistente a endurecerse a bajas temperaturas pero tiende a adquirir propiedades de goma a alta T ^a . Baja estabilidad a la cizalla, pero excelente estabilidad a la oxidación. Se emplean en juntas, cadenas, engranajes, cables y en sistemas de engrase centralizado.
Grasa de Bario	Jabón metálico de bario	Con propiedades similares a la grasa de litio pero con mejor resistencia a la acción del agua. Punto de fusión superior a 200 °C. Presentan problemas a baja temperatura
Grasa de Litio	hidroxiestearato de litio	Buena resistencia al agua y buena capacidad de adherencia a superficies. Temperatura de trabajos inferiores a 135 °C. Fácil de manejar a bajas temperaturas. Aceptable resistencia a la corrosión y con una excelente estabilidad a la cizalla. De excelente calidad. Es la grasa "multiuso" más utilizada a nivel mundial. Se emplean para aplicaciones generales como rodamientos, pivotes de mangueta en automóviles, rodamientos sellados, cojinetes, elevadores, acoplamientos, bisagras, etc.

Criterios para la selección del lubricante :

Según nos explica (Luna y Bastidas ,2011). El problema es saber decidir cuándo se debe utilizar aceite y cuando grasa. En general el problema se presenta a controversia, ya que cada tipo de lubricante tiene sus ventajas y desventajas. La decisión depende:

- De las condiciones de operación.
- Del tipo de máquina que debe lubricarse.

Ventajas de las grasas: Permite un escape menor de lubricante, lo que es especialmente útil en algunas industrias en las que el producto final debe ser limpio. Obtura mejor, previniendo contra la entrada de partículas extrañas o agua. Disminuye la frecuencia de la lubricación, por lo que se emplea especialmente en aquellos puntos difíciles de lubricar. Es más fácil mantenerlas en las cajas de lubricación por su consistencia plástica. Se necesita menor cantidad de lubricante que cuando se usa aceite (esto se observa especialmente en los rodamientos) Es más efectiva cuando se opera con velocidades bajas y grandes cargas.

Ventajas de los aceites: Es más fácil de purgar y rellenar. Esto constituye una gran ventaja cuando es necesario lubricar frecuentemente debido a las necesidades del servicio. Es más fácil controlar la correcta cantidad del lubricante. Se adapta más fácilmente a todas las partes de la máquina. Se puede usar en un rango mayor de temperatura y velocidades, especialmente cuando las temperaturas están bajo los 0 °C y sobre los 93,33 °C. Ofrecen un mayor rango de viscosidades para elegir de acuerdo con las velocidades y las cargas. Permite su aplicación por diversos motivos.

Según (Luna y Bastidas ,2011). Las grasas son usadas en aplicaciones donde los lubricantes líquidos no pueden proveer la protección requerida.

La lubricación por grasa posee ciertas ventajas en relación con la lubricación por aceite:

- Es fácil aplicarlas y requieren poco mantenimiento.
- La construcción y el diseño son menos complejos.
- A menudo menor mantenimiento, al ser posible la lubricación de por vida.
- Menor riesgo de fugas y juntas de estanqueidad más sencillas.
- Eficaz obturación gracias a la salida de la grasa usada, es decir, la "formación de cuellos de grasa".
- Con grasas para altas velocidades, cantidades de grasa dosificadas y un proceso de rodaje pueden obtenerse bajas temperaturas del cojinete a elevado número de revoluciones.

Pero también posee desventajas como ser:

- No es posible la evacuación de calor.
- La película de grasas absorbe las impurezas y no las expulsa, sobre todo en el caso de lubricación con cantidades mínimas de grasa.
- Según el nivel actual de conocimientos, menores números límites de revoluciones o bien factores de velocidad admisibles en comparación con la lubricación por inyección de aceite y la lubricación por pulverización.

Según (Navarro, 2004). Selección del tipo de lubricante según factor de velocidad.

FACTOR DE VELOCIDAD (F_v) (Criterio primario)

$$F_v = d \cdot n < 3 \times 10^5 \quad \Rightarrow \text{Grasa lubricante} \quad (1.1)$$

$$F_v = d \cdot n \geq 3 \times 10^5 \quad \Rightarrow \text{Uso exclusivo de aceite lubricante} \quad (1.2)$$

d = diámetro interior del cojinete n = número de revoluciones por minuto del árbol

1.1.2. Propiedades de los lubricantes.

Según (Alarcón, 2019) las propiedades más importantes de los lubricantes líquidos son:

- **Viscosidad:** Es la resistencia del aceite a fluir y es la cualidad más importante a tener en consideración al momento de seleccionar un lubricante. Existen dos tipos de viscosidades, una es la viscosidad absoluta y la otra es la viscosidad cinemática. La viscosidad absoluta representa a la viscosidad real de un líquido y se mide por el tiempo que demora un lubricante a fluir a una temperatura determinada. La viscosidad cinemática es la más utilizada para expresar esta propiedad del fluido. La viscosidad cinemática o del movimiento del fluido equivale a la viscosidad absoluta dividida por su densidad
- **Índice de viscosidad:** Según la ASTM D2270 – IP 73. Dice que el índice de viscosidad permite expresar la característica de variación de la viscosidad con la temperatura mediante un único número adimensional. Cuanto mayor es el índice menor es la variación de la viscosidad con la temperatura y viceversa.
- **Punto de inflamación:** Según la ASTM D 92/93 – IP 34/36. Dice que es la temperatura a la cual se desprenden suficientes cantidades de vapores como para producir una mezcla de combustible con aire bajo condiciones estandarizadas. En el método COC (Cleveland) la muestra es calentada en una copa abierta y a intervalos específicos de temperatura se aproxima una llama de prueba.
- **Punto de escurrimiento:** Según la ASTM D 97 – IP 15 dice que es la mínima temperatura a la cual el aceite fluye por gravedad al ser enfriado a una cierta velocidad y examinado a intervalos específicos.
- **Numero de neutralización:** Según la ASTM D 664 - IP 177, dice que es una medida de la cantidad de sustancias acidas o básicas presentes en una muestra. La acidez o alcalinidad se expresa como valor de neutralización, es decir, los mg de hidróxido de potasio (KOH) necesarios para neutralizar los ácidos en un gramo de aceite, lo que se denomina alcalinidad o Número Acido Total (TAN) o bien la cantidad de ácido requerida para neutralizar los componentes básicos, pero expresada también en su equivalente a mg de KOH que recibe el nombre de alcalinidad o Número Base Total (TBN).
- **Numero de saponificación:** También llamado SAP, es el indicador de la cantidad de material graso contenido en un lubricante. El número SAP varía de 0 para un aceite que

no contiene material graso a 200 para un lubricante compuesto en su totalidad por materiales grasos.

- **Demulsibilidad:** Según la ASTM D 1401 – IP 19, dice que es la indicación de la capacidad de un aceite para separarse del agua y no formar emulsiones. Consiste en mezclar cantidades iguales de agua y aceite a una cierta temperatura, agitar y luego dejar reposar. Se mide el tiempo necesario para que la emulsión desaparezca y se separe el agua del aceite.
- **Espuma:** Según la ASTM D 892 dice que es una forma de evaluar la tendencia de un aceite a formar espuma. Consiste en influir aire en una muestra durante 5 minutos e inmediatamente medir el volumen de espuma formado, luego se deja reposar y se mide nuevamente la espuma al cabo de 10 minutos.
- **Densidad:** También llamada gravedad API, está definida como la masa de un aceite lubricante por unidad de volumen de esta a determinada temperatura.

Según (Alarcón, 2019) las propiedades más importantes de los lubricantes semisólidos son:

- **Consistencia:** Constituye una indicación de la resistencia de la grasa a una deformación permanente, se evalúa midiendo la profundidad de la penetración producida por un cono standard en un bloque de grasa y se emplea como medio de clasificación los grados NLGI (El Instituto Nacional de Grasas Lubricantes), (tabla 1.2). La consistencia depende fundamentalmente de la cantidad de espesante que contenga la grasa, no obstante, también se ve afectada por el trabajo mecánico que haya recibido, ya que este altera la estructura de las fibras.

Tabla 1.2. Clasificación de las grasas según NLGI. (Fuente: Alarcón, 2019)

Número de consistencia	Grado de penetración trabajada a 60 golpes dobles (10^{-1} mm)	Grado dureza
000	445 - 475	Muy fluida
00	400 - 430	Fluida
0	355 - 385	Semi-fluida
1	310 - 340	Muy suave
2	265 - 295	Suave
3	220 - 250	Dureza media
4	175 - 205	Dura
5	130 - 160	Muy dura
6	85 - 115	Extremadamente dura

- **Punto de goteo:** Si una grasa es calentada, esta se ablanda, la temperatura a la cual se genera la primera gota, se denominará punto de goteo. En procesos en los cuales se trabaja a temperaturas relativamente alta, el punto de goteo debe ser un factor que considerar al momento de la selección de una grasa.
- **Estabilidad mecánica:** Es la indicación de la resistencia de la grasa a modificar su consistencia como consecuencia de un trabajo prolongado, y se evalúa midiendo la penetración antes y después de someter a la grasa a 100.000 dobles golpes de bombeo.
- **Separación de aceite:** Para una lubricación eficiente, es preciso que exista una cierta segregación del aceite. Sin embargo, esta separación también puede ocurrir espontáneamente durante el almacenamiento prolongado. Si es pequeña bastará con revolver la grasa para dispersar el aceite previo a la aplicación.

1.2. Análisis de lubricantes.

Unas de las técnicas de detección precoz de síntomas son los análisis de lubricantes. Son una técnica simple, que realizando medidas de algunas propiedades físicas y químicas proporciona información con respecto a:

- La salud del lubricante.
- Contaminación del lubricante.
- Desgaste de la maquinaria.

Además, el uso de este tipo de técnicas posee ventajas tales como:

- Determinación óptima del tiempo para realizar el mantenimiento preventivo.
- Ejecución sin interrumpir el funcionamiento normal de equipos e instalaciones.
- Mejora el conocimiento y el control del estado de los equipos.

Un Sistema de Análisis de lubricantes implica la toma y prueba de muestras en diferentes elementos para identificar posibles problemas, teniendo como principales objetivos:

- Identificar impurezas en los aceites para evitar problemas relativos al desgaste de maquinaria y componentes.
- Detectar fuentes de contaminación posibles como agua, combustible, polvo etc.
- Detectar posibles mezclas de aceite.
- Comprobar si mantienen sus especificaciones técnicas o han completado su vida útil.

Este último punto es muy importante ya que muestra el modo en que se puede incluir un Sistema de Análisis de aceite en los procedimientos de mantenimiento. Los beneficios de implementar un Sistema de Análisis de aceite implican:

- Ahorros en los costos, prolongando la vida útil de los aceites y evitando cambios normalmente costosos antes de tiempo.
- Avisos previos de fallas en maquinaria o de un excesivo desgaste de los componentes.
- Proporciona una referencia para la comparación de máquinas idénticas.
- Determinar si se está utilizando el aceite correcto.

1.2.1 Técnicas de análisis de lubricantes.

El monitoreo de residuos pertenece primariamente a la detección y algunas veces también al análisis de partículas metálicas de desgaste. Las técnicas y equipos más comúnmente aplicadas en la técnica del monitoreo de condiciones incluyen la espectroscopia de emisión atómica (AES), espectroscopia de absorción atómica (AAS), espectroscopia de fluorescencia de rayos x (XFR), la ferrografía, detección magnética de partículas y examen microscópica de partículas.

A continuación se revisaran las pruebas que se utilizan frecuentemente en la filosofía del mantenimiento proactivo como técnicas de monitoreo de condición.

- **Análisis Espectrométrico:** Esta técnica se utiliza para detectar y cuantificar elementos metálicos en un aceite usado como resultado del desgaste, contaminación y aditivos del aceite.
- **Espectroscopia de Filtro Rotatorio (RFS):** Esta técnica espectrométrica detecta partículas gruesas de metales de desgaste y contaminantes base de silicio en muestras de aceites usados. Estas partículas gruesas incluyen todas las partículas hasta 25µm, pero excluye a los aditivos.
- **Análisis Infrarrojo (FTIR):** Esta técnica espectrométrica se utiliza para detectar componentes orgánicos en el aceite, agua y productos de degradación de una muestra de aceite usado. Durante la utilización del aceite, éste se degrada y en ocasiones se acidifica.
- **Viscosidad:** Las viscosidades de los lubricantes varían dependiendo de su grado o clasificación, así como de su grado de oxidación y contaminación durante el servicio.
- **Número Ácido (TAN):** Es un método de titulación diseñado para indicar la acidez relativa del aceite. Este tipo de pruebas se realiza generalmente en motores de

combustión interna. El número ácido es utilizado como una guía de seguimiento de la degeneración por oxidación de un aceite en servicio.

- **Número Básico (TBN):** El Número Básico, es el inverso del TAN y es una prueba de titulación utilizada para determinar la reserva alcalina de un lubricante. El TBN es aceptado generalmente como un indicador de la habilidad del lubricante para neutralizar ácidos peligrosos formados por la combustión de productos en motores de combustión interna.
- **Detección de Agua:** El agua es un elemento no deseado normalmente en el lubricante, ya que el agua destruye la capacidad del lubricante para proteger las partes en movimiento y además ataca los aditivos del aceite, haciendo que el equipo sufra desgaste, herrumbre y corrosión. Otro efecto del agua en los lubricantes es la formación de espuma, incremento de temperatura y lodo en los depósitos.
- **Conteo de Partículas:** Es un método para clasificar y contar partículas en el lubricante de acuerdo con rangos aceptados de tamaño, por organismos como ISO con su norma ISO 4406 y la NAS 1638. Hay varios tipos de instrumentos utilizados para conteo de partículas, que utilizan diferentes sistemas y tecnologías, desde contadores ópticos láser a los de monitoreo de bloqueo de poro.
- **Ferrografía Analítica:** Esta es una técnica que separa las partículas de desgaste del aceite por medio de magnetismo y las deposita en una placa de vidrio conocida como ferrograma. El examen al microscopio permite identificar el modo de desgaste y las probables fuentes de desgaste de la maquinaria. Esta técnica es conocida como Ferrografía Analítica.

Teniendo en cuenta lo planteado anteriormente el autor considera que mediante el conocimiento de las propiedades, tanto de las grasa como de los aceites lubricantes es posible realizar análisis y estudios que permiten conocer no solo el estado de desgaste de los equipos, detectar fallos inminentes, sino también establecer un programa de lubricación basado en condición.

Además es de la opinión que en estos análisis empleados preferentemente para los aceites hay algunos que también se pueden utilizar en el análisis de las grasas lubricantes o similares ya que ambos lubricantes poseen semejantes características.

Según (Morales, 2017) se explican las siguientes técnicas para el análisis de las grasas lubricantes:

Análisis químicos.

- Contenido en ácidos grasos del jabón y libres: Este ensayo sirve para determinar la naturaleza del jabón incorporado, ya que por él se puede conocer el tipo de grasa - sódica - cálcica - bario, etc. Sus propiedades midiendo el tanto por ciento de jabón incorporado y por tanto su campo de aplicación.
- Contenido en aceite mineral: Nos da a conocer el tipo de aceite empleado en su fabricación. Normalmente el aceite componente de la grasa se escoge con las características similares a las que se emplearía si el mecanismo fuese lubricado con éste, en vez de por grasa.
- Contenido en agua: El agua puede existir en forma disuelta o dispersa, lo más perjudicial es la segunda, ya que facilitará la corrosión del mecanismo.
- Alcalinidad y acidez. Se controla la presencia de ácido o álcali libres. Cuando se trata de grasas usadas, por el aumento de acidez podemos conocer el grado de oxidación alcanzado. Se admite una pequeña acidez orgánica en las grasas cálcicas ya que su efecto es beneficioso. Estos ensayos son más significativos para el control de fabricación que para la aplicación de las grasas.
- Índice de saponificación: Su significado es muy preciso, ya que caracteriza el contenido en materias saponificables y permite también identificar el tipo de aceite empleado. En muchos casos orienta sobre el grado de oxidación de las mismas.
- Determinación de cenizas: Constituye el índice de pureza de una grasa. Cuando se trata de grasas usadas, las cenizas indican la acción corrosiva producida por los productos de oxidación y abrasión mecánica. Si se trata de una grasa con aditivos metálicos, la determinación de las cenizas nos indica su naturaleza y cantidad, controlando en el caso de las grasas usadas el consumo en aditivo.

Análisis físico-químicos.

- Consistencia penetración: Es una medida de la dureza relativa y se puede definir como la propiedad que caracteriza la fluidez de la misma cuando se le aplica una presión determinada. La penetración ASTM o Grado NLGI es un índice numérico de la penetración de la muestra de grasa, expresada en décimas de milímetro por medio de un cono estándar en condiciones establecidas. El (NLGI) clasifica las grasas de

acuerdo con su penetración ASTM, según la tabla. La consistencia es un factor importante en su capacidad para lubricar, sellar, permanecer en su sitio y su facilidad con que puede ser aplicada, como asimismo según la temperatura a que va a estar sometida durante su servicio.

- **Aspecto y estructura:** En la apariencia de una grasa y su descripción se suele hacer como: suave, mantecosa, fibrosa de fibra corta o larga, filamentosa, pegajosa. Estas características están influenciadas por la viscosidad del fluido, proporción de los componentes, tipo de espesante, presencia de ciertos aditivos y proceso de manufactura.

No hay método estándar de ensayos para una definición cuantitativa de estas propiedades. Los cambios de aspecto y estructura afectan la adhesividad y facilidad de su manipulación.

- **Estabilidad estructural:** Es la capacidad de una grasa para retener su consistencia y aspecto de fabricación a pesar del tiempo, temperatura, trabajo mecánico y otras influencia., o su capacidad para volver a su estado original, cuando cesa cualquier influencia transitoria.
- **Viscosidad Aparente:** El concepto de viscosidad usual, válida para fluidos no es aplicable. La viscosidad aparente de la mayor parte de las grasas disminuye cuando aumenta la temperatura o régimen de esfuerzo cortante. La viscosidad aparente influye enormemente en la facilidad de manipulación y distribución de la grasa.
- **Punto de gota:** Es una importante propiedad de identificación y se define como la temperatura a la cual la grasa pasa generalmente a ser un sólido plástico al estado líquido, y fluye a través de un orificio estándar en las condiciones de ensayo. No obstante el punto de gota no es la máxima temperatura de aplicación de una grasa, aunque sí indica que su comportamiento sería desfavorable a temperaturas más altas.
- **Resistencia a la oxidación:** Es la resistencia al deterioro químico en el almacenaje y en servicio causado por la exposición al aire. Depende fundamentalmente de la estabilidad de los componentes de la grasa y puede ser mejorado por el uso de antioxidantes. El ensayo se basa en 2 etapas, la primera o período de inducción, donde los cambios en sus propiedades químicas son relativamente pequeños. Cuando existe un cambio profundo en la velocidad de reacción después de un cierto tiempo es el final período de inducción, y el principio de la segunda etapa de la oxidación.

- **Protección contra la corrosión:** Depende de la composición de la grasa, su capacidad para formar y mantener un sello que protege contra la admisión de materiales corrosivos e indeseables y su reacción al agua. Se manifiesta también por la aparición de compuestos corrosivos que atacan las aleaciones a base de plomo, cadmio y cobre.
- **Pérdida por evaporación:** Toda grasa de gran calidad ha de seleccionar con cuidado los aceites empleados en su fabricación, de lo contrario se está expuesto a pérdidas por evaporación de las fracciones más volátiles del aceite, que endurecerían la grasa dando lugar a una lubricación ineficaz que puede llegar incluso a impedir el giro del mecanismo lubricado.
- **Resistencia al lavado con agua:** Es importante conocer la resistencia que poseen las grasas a la acción del agua, pues cantidades pequeñísimas son suficientes en algunas ocasiones para modificar su estructura; tal es el caso de las grasas sódicas. El efecto es menor en las mixtas (Na-Ca) y (Li-Ca), las que mejor comportamiento ofrecen a esta acción son las de Ca-Li y Ba.
- **Partículas abrasivas:** Estas partículas se introducen en los mecanismos lubricados incrustándose en ellos deteriorándoles al rayar sus superficies pulidas, esto sucede cuando la dureza de las partículas destructivas es superior a la del propio cojinete, en caso contrario el efecto producido es de desgaste.

1.2.2. Normas existentes para el análisis de lubricantes.

Tabla 1.3. Principales métodos y ensayos normalizados para grasas lubricantes.

Propiedades	Ensayos	Normas ASTM	Normas DIM
Consistencia	Ensayos de penetración con cono.	ASTM D-217 / ASTM D-1403	DIN ISO 2137
Viscosidad Aparente	Determinación de la viscosidad aparente.	ASTM D-1092	-
Resistencia a la temperatura	Ensayo para la determinación del punto de gota.	ASTM D-566 / ASTM D-2265	DIN ISO 2176
Resistencia al agua	Ensayo para evaluar la acción del lavado con agua.	ASTM D-1264	-
Composición (jabón, alcalinidad, insolubles, agua, ácidos grasos,...)	Análisis de grasas lubricantes.	ASTM D-128	-
Presión Extrema (EP)	Medición de las propiedades de presión extrema en ensayo de cuatro bolas.	ASTM D-2596	DIN 51350-4

1.3 Dispositivos y herramientas para el análisis de las grasas lubricantes.

Equipos empleados en la caracterización reológica :

- Reómetro de esfuerzo controlado RS-150, utilizando sistemas sensores placa-placa de superficie rugosa (35 mm de diámetro, 1 mm de separación, PP35R). El máximo par de torsión que puede aplicar el equipo es de 150 Nm y el mínimo desplazamiento angular que puede ser medido es de 1×10^{-7} rad. Para el control de temperatura el equipo lleva acoplada un horno eléctrico.



Figura 1.1. Reómetro de esfuerzo controlado RS-150.

- Reómetro de esfuerzo controlado Gemini, BOHLIN, utilizando sistemas sensores tipo placa-placa de superficie rugosa (25 mm de diámetro, 1 mm de separación entre placas, PP25R). El intervalo de torque que permite medir este equipo en cizalla oscilatoria es de (0.05-150) Nm con una resolución de 1 nNm. Para la termostatación de las muestras el equipo lleva acoplada en la placa inferior una unida Peltier.



Figura 1.2. Reómetro de esfuerzo controlado Gemini BOHLIN.

- Reómetro de deformación controlada ARES, usando sistemas sensores placa a placa de superficie rugosa (25 mm de diámetro, 1 mm de separación, PP25R). Tiene un intervalo de velocidades de cizalla comprendido entre $(10^{-2}-10^2) s^{-1}$, siendo el mínimo ángulo de desplazamiento que puede ser medido de 0.01 rad. Para la termostatación de las muestras, el equipo posee un horno de convección forzada con inyección directa de aire a la cámara de medida.



Figura 1.3. Reómetro de deformación controlada ARES.

- Microscopio óptico Olympus BX51, con diferentes lentes de magnificación: 10x, 20x y 50x. Este microscopio se acopla a una cámara digital Olympus Camedia C-5050ZOOM (zoom óptico 3x y una máxima resolución de 5.0 Mega Pixeles), a una video cámara a color JVC TKC1481B, (velocidad de 50 frames/segundo) y a los sistemas Linkam Cryo-CSS450 y Linkam LTS350.



Figura 1.4. Microscopio óptico.

- El microscopio electrónico de barrido (SEM) es el mejor método adaptado al estudio de la morfología de las superficies. A diferencia de un microscopio óptico que utiliza

fotones del espectro visible, la imagen obtenida por SEM se genera por la interacción de un haz de electrones que "barre" un área determinada sobre la superficie de la muestra.



Figura 1.5. SEM modelo JSM -5410.

- Microscopia electrónica de barrido ambiental (ESEM): El estudio de la microestructura de algunas grasas lubricantes se realizó con un microscopio electrónico de barrido ambiental (Environmental Scanning Electron Microscope - ESEM) marca FEI modelo Quanta 200 equipado con un sistema de microanálisis por dispersión de energía de rayos-X (EDAX), una platina Peltier de enfriamiento (-30 a +60) °C y platina de calentamiento con rangos hasta 1000°C. Permite realizar observaciones en tres modos de operación diferentes: alto vacío, bajo vacío y condiciones ambientales.

Ensayos tecnológicos

- Penetrómetro modelo Seta Universal Penetrometer 17000-2 con un cono de un cuarto de escala.



Figura 1.6. Penetrómetro modelo Seta Universal Penetrometer 17000-2

- Para evaluar las grasas se emplea un equipo que analiza la estabilidad frente al laminado (Roll Stability Tester) modelo 19400-3 (Stanhope-Seta, Gran Bretaña) de acuerdo a la norma ASTM D1831.



Figura 1.7. Roll Stability Tester modelo 1940-3

Caracterización térmica

- Calorímetro diferencial de barrido modelo Q-100. Acoplado al calorímetro, un ordenador controla el proceso de medida, el almacenamiento de datos y la representación gráfica en tiempo real. Además, este ordenador permite la salida y el análisis de los datos a través del software Universal Análisis 2000.



Figura 1.8. Calorímetro diferencial de barrido (DSC Q-100).

La compañía SKF diseñó en el 2010 un dispositivo llamado TKG T 1 especialmente para su utilización en campo, y ofrece un método de prueba completo y rápido. No se requiere capacitación especial para utilizarlo y las pruebas son sencillas de realizar. En comparación con la mayoría de las pruebas de laboratorio, la muestra de grasa que se

necesita para el análisis es muy pequeña (por lo general, apenas 0,5 gramos), lo que permite que las pruebas se realicen en rodamientos de prácticamente todos los tamaños. (SKF Maintenance Products, 2010)

Sin embargo debido a las limitaciones económicas de Cuba y en particular de la Universidad de Holguín, fue necesario diseñar un equipo propio teniendo en cuenta las posibles técnicas de diagnóstico que se puedan implementar de forma rápida y de esta forma conocer la condición de la grasa lubricante, su posible grado de contaminación y el estado técnico de los pares tribológicos donde esta se desempeña.

CAPITULO II. Diseño y construcción de un dispositivo para el análisis de las grasas lubricantes.

En este capítulo se presentará el diseño del dispositivo y su construcción, así como los pasos para realizar el diagnóstico de grasas lubricantes a través de él.

2.1 Diseño del dispositivo para el análisis de las grasas lubricantes.

El diseño se realizó empleando el software solidwork versión 2016, y durante su desarrollo se tuvieron en cuenta factores como: la función que desempeñará, el fácil manejo del mismo por parte del usuario, su sencillez de fabricación, materiales de fácil adquisición, equipos o máquinas que intervienen en su fabricación y su posterior mantenimiento el cual se basa fundamentalmente en la limpieza del equipo.

El dispositivo a diseñar se conforma de tres elementos básicos, como son:

Las láminas (tres), dos de ellas tienen la función de comprimir y retener la grasa lubricante a analizar para su posterior comparación con la plantilla según la norma NLGI, la cual se representa más adelante.

La tercer lámina presenta un agujero en su centro, cuya función es centrar la muestra inicial de grasa lubricante a analizar y hacerla coincidir con el centro de la plantilla de la norma NLGI. El agujero de dicha lámina tiene un diámetro de 13 mm el cual coincide con el grado de consistencia número cinco catalogado como grasa muy dura. Ver figura 2.1.

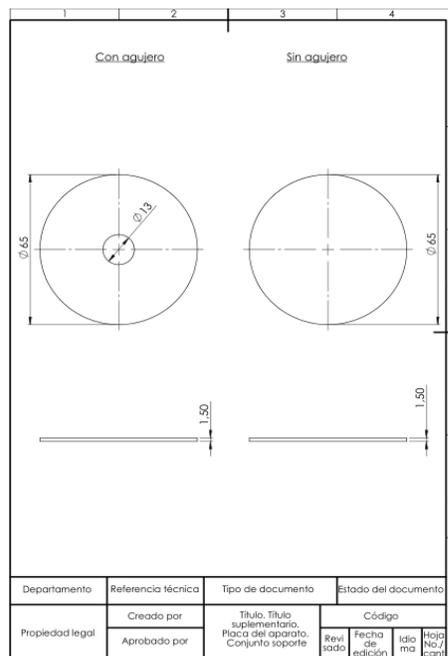


Figura 2.1. Plano de láminas del dispositivo para analizar grasas lubricantes. (Fuente elaboración propia)

El segundo elemento del dispositivo es la masa (0.8 kg) que se coloca encima de las láminas, con el objetivo de hacer presión sobre la muestra de grasa a analizar y después de unos 30 segundos retirarla para su posterior comparación con la plantilla patrón. Ver figura 2.2.

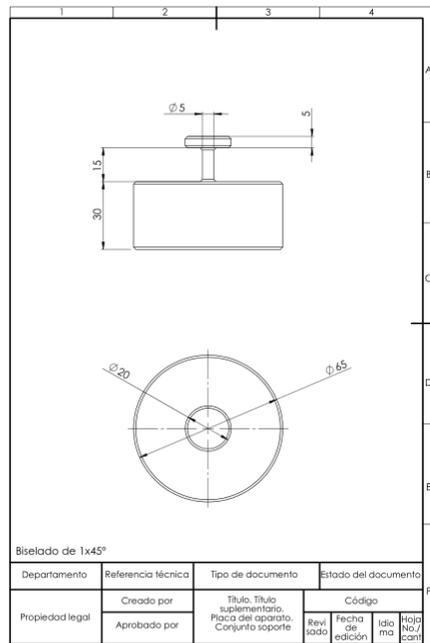
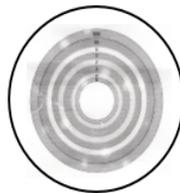


Figura 2.2. Plano de la masa del dispositivo para analizar grasas lubricantes. (Fuente elaboración propia)

El último elemento a diseñar es la plantilla patrón (ver figura 2.3), para su confección se tuvo en cuenta la literatura consultada, el paquete office 2010 y la escala desarrollada por el Instituto Nacional de Grasas Lubricantes de EE.UU, cada circunferencia posee un diámetro en décimas de milímetros según dicha escala.



Clasificación de las grasas según NLGI.

Numero de consistencia	Grado de penetración tras 10 golpes a su golpeo dobles (10 ⁻¹ mm)	Grado de dureza
000	445 - 475	Muy fluida
00	400 - 430	Fluida
0	355 - 385	Semi fluida
1	310 - 340	Muy suave
2	265 - 295	Suave
3	220 - 250	Dureza media
4	175 - 205	Dura
5	130 - 160	Muy dura
6	85 - 115	Extremadamente dura

Figura 2.3. Plano plantilla patrón según escala NLGI del dispositivo para analizar grasas lubricantes. (Fuente elaboración propia)

Los elementos mencionados anteriormente servirán para realizar pruebas de consistencia fundamentalmente y con el apoyo de otros elementos que se mencionan a continuación se realizarán análisis de la dispersividad del aceite base de la grasa a analizar, resistencia al agua y contaminación, esta última empleando un procedimiento similar al análisis ferrográfico.

Los accesorios que complementan el dispositivo de forma general, están compuestos por: plantillas de papel filtro (pruebas de dispersividad del aceite base), microscopio metalográfico (prueba de contaminación), hornilla eléctrica y plantilla modelo para la recolección de datos de la grasa a analizar. Estos accesorios se muestran en el siguiente epígrafe.

2.2 Construcción del dispositivo para el análisis de las grasas lubricantes.

La construcción de las láminas se realizó en una fresadora por control numérico computarizado (CNC) láser modelo PC 10/80KII, marca PEREZCAMPS (ver figura 2.4), perteneciente a la empresa UEB Propaganda y eventos Holguín, con dirección calle Máximo Gómez No. 348, entre Luz Caballero y Aricochea, el material empleado fue de acrílico de color transparente como se puede observar en la figura 2.5.



Figura 2.4. [Fotografía de Ramón Alvarez Aguilera]. (UEB Propaganda y eventos Holguín. 2021). Fresadora CNC láser modelo PC 10/80KII. Cuba.

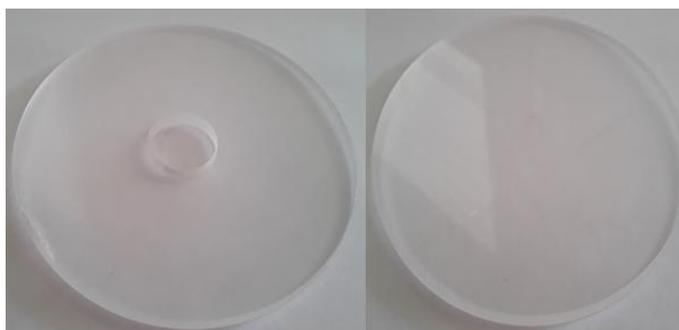


Figura 2.5. [Fotografía de Ramón Alvarez Aguilera]. (UEB Propaganda y eventos Holguín. 2021). Láminas fabricadas. Cuba.

La masa fue maquinada en un torno paralelo modelo 3MM, (ver figura 2.6), se empleó una barra con diámetro inicial de 67 mm, la cual fue torneada hasta llegar a las dimensiones del plano.



Figura 2.6. [Fotografía de Ramón Alvarez Aguilera]. (Universidad de Holguín. 2021). Proceso de fabricación de la masa en el torno paralelo modelo 3MM. Cuba.

La construcción de la plantilla a modo de parala recolección de la información por parte del usuario durante las inspecciones de la grasas en las máquinas se realizó de papel, empleando el paquete office 2010 y en el diseño se tuvo en cuenta los datos fundamentales para el control de las muestras, ver tabla 21.

Tabla 21. Modelo para la recolección de la información durante la recolección de muestra de grasas lubricantes (Fuente: Elaboración propia)

Máquina (nombre)	Código número	Regimen de trabajo (h)		Intervalo de lubricación (h)	Método de lubricación	Horas (h) cantidad (g)
Rotamiento (designación)	Lipolubricación	Carga de trabajo (fabricante/actual) kN		Velocidad de trabajo (fabricante/actual) r/min	Temperatura de trabajo (fabricante/actual)	Vibraciones (fabricante/actual)
Grasa (nombre)	Marca tipo	Inspección con los sentidos (fabricante/actual)	Resistencia al agua (fabricante/actual)	Consistencia (fabricante/actual)	Contaminación (fabricante/actual)	Dispersión de aceite (%)

Notas:

Las plantillas de papel filtro fueron donadas por el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Holguín, estas tienen un diámetro de 95 mm. (Ver figura 2.7).

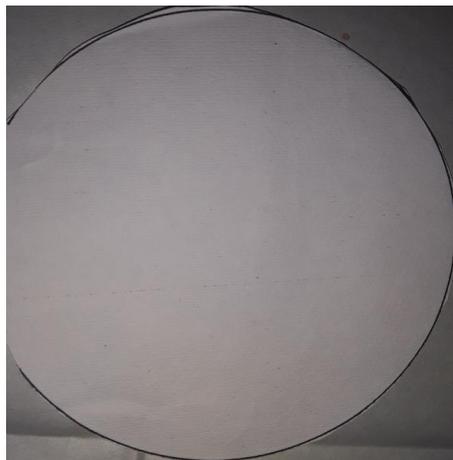


Figura 2.7. [Fotografía de Ramón Alvarez Aguilera]. (Universidad de Holguín. 2021). Plantillas de papel filtro. Cuba.

El microscopio metalográfico marca NOBEL pertenece al laboratorio de ciencias de los materiales de la Universidad de Holguín con una resolución de 1x100, ver figura 2.8.



Figura 2.8. [Fotografía de Ramón Alvarez Aguilera]. (Universidad de Holguín. 2021). Microscopio metalográfico. Cuba.

La hornilla eléctrica fue donada por el autor del presente trabajo, modelo G ELECT. Esta hornilla puede alcanzar una temperatura de hasta 200 °C permitiendo su uso para otros

análisis relacionados con los lubricantes en sentido general. Además posee un selector de temperatura que permite la regulación de la misma, ver figura 2.9.



Figura 2.9. [Fotografía de Ramón Alvarez Aguilera]. (Universidad de Holguín. 2021). Hornilla eléctrica. Cuba.

2.3 Procedimiento para realizar el laboratorio sobre monitorización de partículas a través del análisis de las grasas lubricantes.

Paso 1. Recopilación de la información:

- Datos de la máquina: Velocidad de trabajo o regímenes de trabajo, nombre del equipo, código o número, intervalos de relubricación (horas, cantidad).
- Características del rodamiento: Designación, tipo, carga de trabajo (según fabricante), carga de trabajo actual, velocidad de trabajo según fabricante y actual, temperatura de trabajo según fabricante y actual, vibraciones según normativas o fabricantes y actual.
- Datos de la grasa lubricante usada en el rodamiento: Nombre, marca y tipo de grasa, especificaciones o propiedades de la misma.

Paso 2. Limpieza y preparación de instrumentos:

- Revisar limpieza de instrumentos para extracción de la grasa y envases para almacenar la muestra tomada.
- Inspección de la grasa usando los sentidos: olor, color, tacto, (registrar la información posible, fotos) y posterior comparación con la grasa nueva.
- Extraer de ser posible la muestra de grasa directamente del rodamiento, en caso contrario hacerlo por el mecanismo que tenga el sistema para purgar la grasa u otra forma que permita la extracción de la misma. Cantidad: (0,5-5) g.

- Rotular los envases tanto para la grasa nueva como la usada con las siguientes especificaciones: Horas de operación, nombre del equipo de donde se extrajo, tipo y nombre de la grasa, fecha y hora de la extracción.

Paso 3. Prueba de consistencia o rigidez de la grasa (25-40) °C:

a) Colocar la lámina de acrílico 1 en una superficie plana, ver figura 2.10.



Figura 2.10. [Fotografía de Ramón Alvarez Aguilera]. (Universidad de Holguín. 2021). Lámina de acrílico 1, prueba de consistencia. Cuba.

b) Luego situar la lámina de acrílico 2 encima de la lámina 1, ver figura 2.11.



Figura 2.11. [Fotografía de Ramón Alvarez Aguilera]. (Universidad de Holguín. 2021). Lámina de acrílico 2, prueba de consistencia. Cuba.

c) Tomar la muestra de grasa nueva y aplicarla en la lámina 2, llenando el agujero de esta y retirar grasa sobrante ver figura 2.12 (izquierda y derecha respectivamente).



Figura 2.12. [Fotografía de Ramón Alvarez Aguilera]. (Universidad de Holguín. 2021). Preparación de la muestra de grasa en láminas. Cuba.

d) Retirar hacia arriba lámina 2 de la 1, de manera que la grasa introducida en el agujero mantenga la forma del mismo, ver figura 13.



Figura 2.13. [Fotografía de Ramón Alvarez Aguilera]. (Universidad de Holguín. 2021). Retirado de lámina 2. Cuba.

e) Colocar encima de lámina 1 la lámina 3, luego poner encima de lámina 3 la masa y esperar 30 segundos, ver figura 2.14.



Figura 2.14. [Fotografía de Ramón Alvarez Aguilera]. (Universidad de Holguín. 2021). Colocación de masa encima de las láminas. Cuba.

- f) Retirar la masa con cuidado de promover las láminas y posteriormente situar la muestra de grasa en la plantilla realizando así la lectura según el diámetro de la misma. Apoyarse en la escala NLGI para definir la consistencia, ver figura 2.15.



Figura 2.15. [Fotografía de Ramón Álvarez Aguilera]. (Universidad de Holguín. 2021). Análisis de la consistencia de la grasa a analizar. Cuba.

- g) Recoger la información de los resultados obtenidos.
h) Limpiar de los instrumentos empleados, (usar gasoil).
i) Repetir procedimiento para la grasa usada.

Paso 4. Ensayo de dispersividad del aceite base de la grasas a analizar:

- a) Colocar lámina 2 encima de la plantilla del papel filtro, seguidamente se llena el agujero con la grasa a analizar, luego se retira la grasa sobrante y posteriormente la lámina 2, ver figura 2.16.

Figura 2.16. [Fotografía de Ramón Álvarez Aguilera]. (Universidad de Holguín. 2021). Colocación de muestra de grasa en plantilla de papel filtro. Cuba.

b) Colocar papel filtro con la muestra de grasa en la hornilla eléctrica y se somete a una temperatura de 65 °C durante dos horas. Después se limpia la plantilla de la grasa sobrante, ver figura 2.17.

Figura 2.18. [Fotografía de Ramón Alvarez Aguilera]. (Universidad de Holguín. 2021). Calentamiento de la muestra de grasa. Cuba.

c) Tomar con una regla mediciones en el eje horizontal y vertical del diámetro del núcleo central de la mancha (ver figura 2.19) y se calcula el promedio de los diámetros de dicho núcleo, según ecuación 2.1.

Figura 2.19. [Fotografía de Ramón Alvarez Aguilera]. (Universidad de Holguín. 2021). Toma de mediciones en el núcleo central de la mancha. Cuba.

$$d_n = \frac{d_{n1} + d_{n2}}{2} \quad (2.1)$$

Donde:

d_n : Diámetro medio del núcleo de la mancha.

d_{n1} : Diámetro del núcleo de la mancha en el eje horizontal.

d_{n2} : Diámetro del núcleo de la mancha en el eje vertical.

d) Realizar la misma operación del inciso c), pero para la zona de difusión o núcleo exterior de la mancha (ver figura 2.20), empleando la ecuación 2.2.

Figura 2.20. [Fotografía de Ramón Álvarez Aguilera]. (Universidad de Holguín. 2021). Toma de mediciones en el núcleo central de la mancha. Cuba.

$$D_{zd} = \frac{D_{zd1} + D_{zd2}}{2} \quad (2.2)$$

Donde:

D_{zd} : Diámetro medio de la zona de difusión o núcleo externo de la mancha.

D_{zd1} : Diámetro del núcleo de la zona de difusión en el eje horizontal.

D_{zd2} : Diámetro del núcleo de la zona de difusión en el eje vertical.

e) Calcular el área del núcleo central y zona de difusión para la muestra de grasa nueva a través de la fórmula 2.3^a y 2.3b respectivamente, seguidamente se calcula el área de separabilidad por la fórmula 2.4.

$$A_n = \pi r^2 \quad (2.3a)$$

Donde:

A_n : Área del núcleo central (mm^2)

$\pi = 3.14$

r = radio del núcleo central (mm)

$$A_{zd} = \pi r^2 \quad (2.3b)$$

Donde:

A_{zd} : Área de la zona de difusión (mm^2)

$\pi = 3.14$

r = radio de la zona de difusión (mm)

$$A_{sep} = A_{zd} - A_n \quad (2.4)$$

Donde:

A_{sep} : Área de separabilidad (mm^2)

A_{zd} = Área de la zona de difusión (mm^2)

A_n = Área del núcleo central (mm^2)

f) Calcular del porcentaje de separabilidad del aceite base de la grasa a analizar a través de la ecuación 2.5.

$$\% sep = \frac{(Asep1 - Asep2)}{Asep1} \cdot 100 \quad (2.5)$$

Donde:

% sep = porcentaje de separabilidad.

Asep1 = área de separabilidad de la grasa nueva (sin usar).

Asep2 = área de separabilidad de la grasa usada.

Según Noria, si la diferencia entre la grasa usada y la nueva es igual o inferior a $\pm 15\%$, la grasa puede seguir siendo utilizada sin cambiar los intervalos de relubricación. Si la grasa usada pierde considerablemente más aceite que la grasa nueva, el espesante no es capaz de mantener el aceite base en su estructura esponjosa. Si una cantidad significativamente menor es liberada por la grasa usada, es un síntoma de que la grasa ha comenzado a secarse. La superficie del rodamiento tiene "hambre" y debe ser relubricada.

g) Recoger la información de los resultados obtenidos.

h) Limpiar de los instrumentos empleados, (usar gasoil).

i) Repetir el paso 4 para la muestra de la grasa usada.

Los bajos niveles de aceite residual pueden ser el resultado de un prolongado tiempo en servicio y con relubricación insuficiente; fuertes vibraciones, cargas o velocidades; mezclas de grasas que han sido saponificadas en forma diferente; contaminación con agua, ácidos o cáusticos; inadecuada resistencia a la temperatura; u oxidación y envejecimiento (acidificación) del aceite base.

Paso 5. Resistencia al agua:

Aunque es más fácil sellar los puntos de lubricación con grasa que con aceite, esta debe ser resistente al agua. Las grasas hidrofóbicas proporcionan un sello eficiente al lavado con agua. Si una grasa puede emulsionar con el agua, se corre el riesgo de corrosión y de fragilización por hidrógeno (embrittlement).

a) Colocar una fina capa de grasa nueva en lámina 1 y sumergir dicha muestra en un recipiente con agua a temperatura ambiente (24-30) °C, durante tres horas y posteriormente sacar la muestra del agua y observar aspecto de la grasa, ver figura 2.21.



Figura 2.21. [Fotografía de Ramón Álvarez Aguilera]. (Universidad de Holguín. 2021). Prueba de resistencia al agua. Cuba.

Según Noria, la alteración del agua se evalúa visualmente y se indica como un valor entre 0 (ninguna alteración) y 3 (alteración importante). La capa de grasa puede tornarse turbia, blanca lechosa o disolverse completamente al absorber humedad cuando se sumerge en agua, indicando baja resistencia al agua. Si el agua se desplaza sobre la capa de grasa, esta será considerada como resistente al agua.

- b) Recoger la información de los resultados obtenidos.
- c) Limpieza de los instrumentos empleados, (usar gasoil).
- d) Repetir paso 5 para la muestra de grasa usada.

Paso 6. Metales de desgaste y contaminación con partículas:

Los métodos convencionales para medir el desgaste son el análisis ferrográfico y el análisis de elementos. Aunque la estimación cuantitativa de las partículas de desgaste es difícil en una muestra de grasa en uso empleando análisis de elementos, dada la dificultad para obtener una muestra representativa, el análisis ferrográfico técnica por naturaleza cuantitativa, es ideal para determinar el mecanismo de desgaste activo y la severidad del problema en rodamientos lubricados por grasa.

- a) Emplear lámina con muestra de grasa nueva obtenida en el inciso f) del paso 3 y a través de un microscopio metalográfico inspeccionar visualmente las posibles partículas presentes dicha muestra y comparar resultados con la guía rápida de Pall Corporation, ver anexo 1.
- b) Recoger la información de los resultados obtenidos.
- c) Limpieza de los instrumentos empleados, (usar gasoil).
- d) Repetir paso 6 para la muestra de grasa usada.

CONCLUSIONES

1. Se determinaron las posibles técnicas y métodos rápidos de diagnóstico a emplear en el análisis de las grasas lubricantes.
2. Se diseñó y construyó un dispositivo para el análisis rápido de las grasas lubricantes.
3. Se elaboró un procedimiento para el desarrollo de los laboratorios del Tema IV Técnicas de Monitorización de Partículas, en la asignatura Tecnologías Proactivas y de Diagnóstico de la Disciplina de Mantenimiento.

RECOMENDACIONES

1. Validar los resultados obtenidos por el dispositivo con los laboratorios de la empresa cubana de lubricantes CUBALUB.
2. Emplear el dispositivo en las máquinas y equipos industriales de las empresas del territorio nacional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón Puentes, F.A. (2019). Propuesta de Plan de Mejora a la Gestión de Lubricación para el Programa de Mantenimiento de la Planta de la Pesquera Foodcorp S.A. (Tesis de Pregrado) Universidad Técnica Federico Santa María, Bélgica.
- Alvarez García, E. A. (1999). Tribología: Fricción, Desgaste y Lubricación (Tesis Doctoral) Universidad Central de las Villas, Cuba.
- Díaz Sepúlveda, J.J. (2006). Documento de apoyo a la gestión de mantenimiento, para la selección y aplicación de lubricantes (Tesis de Pregrado) Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Linares, O. (2005). Tribología y Mantenimiento Proactivo. Widman International S.R.L. Santa Cruz, Bolivia, Recuperado de <http://www.widman.biz/>
- Linares, O. (2009). Generalidades de la Tribología Fundamentos de la Lubricación, Fricción y Desgaste. Santa Cruz, Bolivia.
- Luna Arechúa, Y.R. y Bastidas Guevara, I.J. (2011). Grasas y Aceites lubricantes con grado alimenticio para las Industrias. (Tesis de Pregrado) Universidad de Guayaquil. Ecuador.
- Martín Alfonso, J.M. (2010). Uso de polímeros reciclados y convencionales como modificadores de las propiedades reológicas de grasas lubricantes. (Tesis Doctoral). Universidad de Huelva.
- Morales Sabina, A. (2014). Análisis de aceite a bordo del buque. (Tesis de Pregrado) Universidad de la Laguna. Santa Cruz de Tenerife.
- Navarro Ojeda, M. (2004). Lubricación de los cojinetes de rodamiento (Compendio elaborado a partir de "Diseño y Tribología de Cojinetes de Deslizamiento" de Rodríguez Martínez y Reyes Mojena).
- Rodavigo.S.A. Recuperado de <http://www.rodavigo.net/>
- Sánchez Martínez, R. (2011). Formulación y procesado de oleogeles para el desarrollo de nuevas grasas lubricantes biodegradables (Tesis Doctoral) Universidad de Huelva, Huelva.
- Sarti Valdez, R.A. (2009). Propuesta de ensayos, equipos y elaboraciones en lubricantes para laboratorio de diseño de máquinas 3. (Tesis de Pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- SKF Maintenance Products. (2010). Instrucciones de uso. Recuperado de www.mapro.skf.com

Terradillos, J. y Bilbao, M. (2004) Elementos lubricados con grasa, Boletín Mensual sobre
Lubricación y Mantenimiento, 5, 1-15.