



PUNTOS DE VISTA

CU-ID: <https://cu-id.com/2284/v12n2e10>

Diagnóstico a través del aceite a motores de combustión interna

Diagnosis through the oil to motors of internal combustion

Dr.C. Francisco Martínez-Pérez

Universidad Tecnológica de La Habana CUJAE, Centro de Estudios de Ingeniería de Mantenimiento, Marianao, La Habana, Cuba,

RESUMEN. Entre las máquinas, los motores de combustión interna (MCI) son de gran complejidad para su diseño, producción y posterior adecuado funcionamiento. Esto en gran medida se debe a la gran cantidad de nudos de fricción con que cuentan, y del empleo, en ellos, de la lubricación. El lubricante debe garantizar cumplir con sus funciones principales (separar las zonas de fricción, evacuar el calor generado, arrastrar hacia el filtro, las partículas de desgaste y evitar la corrosión). Los lubricantes permiten, como la sangre en el cuerpo humano, diagnosticar causas de futuras averías o fallos. Es por ello que, en el trabajo se ofrecen, causas de posibles fallos en los MCI, formas y métodos de diagnóstico del aceite y los sistemas de lubricación.

Palabras clave: máquinas, diseño, fricción, lubricación.

Abstract. Among machines, internal combustion engines (ICM) are of great complexity for their design, production and subsequent proper operation. This is largely due to the large number of friction knots they have, and the use, in them, of lubrication. The lubricant must guarantee to fulfill its main functions (separate the friction zones, evacuate the generated heat, drag the wear particles towards the filter and prevent corrosion). Lubricants allow, like blood in the human body, to detect causes of future breakdowns or failures. That is why, at work, causes of possible failures in the MCIs, forms and methods of oil diagnosis and lubrication systems are presented.

Keywords: Machines, Design, Friction, Lubrication.

INTRODUCCIÓN

De la evolución de los sistemas de mantenimiento se tiene el llamado sistema de mantenimiento predictivo basado en el control de síntomas y predicción de fallos según (Macián & Figueroa, 1993), que permite tomar decisiones acertadas sobre cuándo y cómo actuar o ejecutar el mantenimiento a una máquina. La aplicación de este tipo de sistema de mantenimiento ha sido posible debido al desarrollo alcanzado en el estudio de los fallos y su origen, los síntomas, las técnicas de diagnóstico y predicción de fallos, etc. Agrupados todos estos elementos en lo que se conoce como la teoría del diagnóstico.

En los motores de combustión interna (MCI) las investigaciones se han dirigido históricamente a las mejoras de su rendimiento, es decir: consumo específico, potencia, etc. Sin embargo, cada vez toma más importancia el desarrollo de técni-

cas y herramientas que permiten un rápido y fiable diagnóstico de los fallos (Pirro & Daschner, 2001; Sinatora & Mesa, 2003).

¿Qué elementos son los que inciden para que se esté presentando este cambio?

- Las exigencias cada vez más estrictas de las regulaciones legales de contaminación del medio ambiente (humo, toxicidad).
- Las exigencias de mayor garantía de fiabilidad y disponibilidad por parte de los propietarios.
- La dificultad creciente en encontrar expertos capaces de diagnosticar los cada vez más sofisticados sistemas del MCI.
- Esto ha obligado al desarrollo de sistemas de diagnóstico más avanzados con la inclusión de los adelantos de la electrónica y las herramientas informáticas.

¹Autor para correspondencia: Francisco Martínez-Pérez, e-mail: fmartinez@ceim.cujae.edu.cu, fmartinezperez2013@gmail.com ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8947-7870>

Recibido: 12/08/2021.

Aprobado: 14/03/2022.

Por otra parte, cada día se brinda mayor atención al mantenimiento con la finalidad principal de reducir los costos y aumentar la seguridad de los vehículos, lo que implica:

- La prevención de roturas de los MCI, así como de desgastes anormales.
- Un bajo consumo de combustible.
- La aplicación de cambios óptimos de aceite, teniendo en cuenta el tipo de aceite y las condiciones de servicio.
- Una más larga vida de servicio de los motores.

Estos aspectos llevan también a la necesidad de desarrollo y utilización de modernos sistemas de diagnóstico con el fin de reducir el número de averías en servicio, aumentando la fiabilidad y disponibilidad.

DESARROLLO DEL TEMA

Origen de fallos en MCI

El origen de los fallos en los MCI se debe a las sollicitaciones mecánicas, térmicas y químicas a que está sometido el material (Bhushan, 2000; Bhushan & Gupta, 1991; Jost, 1990).

Las sollicitaciones mecánicas se transmiten entre los elementos en forma de cargas estáticas y dinámicas. Las más importantes son las originadas por las fuerzas de inercia, presión de los gases y por las fuerzas de rozamiento entre las partes con movimiento relativo.

Las sollicitaciones térmicas son consecuencia de la generación de calor durante la combustión, la fricción y otras. Por la elevada carga térmica que se genera con el calor de la combustión es fundamental su control con un buen sistema de refrigeración.

Las sollicitaciones químicas, provienen de las reacciones químicas que producen un debilitamiento de la resistencia del material, corrosión que se origina fundamentalmente por la acción de ácidos orgánicos provenientes de la degradación del aceite y por la acción de ácidos inorgánicos provenientes de la combustión o por la acción corrosiva del agua de refrigeración.

Se pueden diagnosticar o predecir los fallos. El diagnóstico es una investigación cuidadosa de los síntomas y hechos que llevan a la detención y aislamiento del fallo causante de una anomalía en la máquina. La predicción de fallos puede definirse como la medición sistemática y el análisis de tendencia de parámetros de diagnóstico del motor con el fin de evaluar su estado actual y predecir la probabilidad futura de fallos.

La lubricación de los motores de combustión interna (MCI) de gasolina y diésel (Bonet, 2016)

De todas las máquinas, los MCI son los que trabajan en condiciones de trabajo más severas y por lo tanto se le exige más al lubricante. Las exigencias que se le pide a los aceites para MCI están dadas por las condiciones a que se ven sometidos y por las funciones que deben satisfacer. A partir de aquí se establecen las características o cualidades que deben cumplir los aceites para MCI.

Las condiciones a las que está sometido un aceite de MCI, son:

1. Temperaturas extremas y variables.
2. Grandes velocidades de fricción (0 - 500 m/min.).
3. Tolerancias mínimas.

4. Ambientes nocivos.
5. Por lo general, baja capacidad del cárter.

Las funciones que se exigen de un lubricante en los motores de combustión interna son:

1. Separar las superficies en movimiento relativo para disminuir el rozamiento, el desgaste y las pérdidas de energía.
2. Evacuar el calor de los pares de fricción (refrigerante).
3. Mantener limpio el motor.
4. Sellar el motor (hermeticidad).
5. Amortiguar los choques y ruidos de las piezas en fricción.
6. Proteger contra la herrumbre y la corrosión de los elementos del motor.
7. Protección contra la corrosión de los productos de la oxidación del aceite y de la combustión del combustible.
8. Protección contra el desgaste del motor
9. Ser compatibles con los productos y sellos de goma del motor.

Operaciones de diagnóstico al sistema de lubricación

Para realizar el diagnóstico del sistema de lubricación del motor se utilizan 5 parámetros (Arias, 1998; Benlloch, 1991):

1. La hermeticidad.
2. Nivel de aceite.
3. La temperatura del lubricante.
4. La presión.
5. El consumo de aceite del motor.

La hermeticidad se comprueba mediante la observación de si existen fugas o derrames en los lugares por donde circula el aceite.

El nivel se comprueba con la varilla de medición o por algún aditamento que posea el motor, el equipo en posición horizontal y después de haberse apagado el motor al transcurrir de (2 ÷ 5) minutos.

La presión se comprueba mediante un manómetro, después de verificar el nivel en el depósito. Se arranca el motor y se espera que alcance el régimen térmico y se diagnostica en ralentí y a frecuencia media de giro del motor. Los valores de presión varían para cada motor. En ralentí la presión no debe ser menor de 70–100 kPa (0,7–1 kgf/cm²) y en frecuencia media de giro debe tener más de 300 kPa (3 atm).

Si el manómetro marca baja presión, las causas pueden ser:

- Aceite diluido.
- Baja viscosidad.
- Temperatura excesiva (sobrecalentamiento).
- Filtro de aceite sucio (la obstrucción disminuye la cantidad de aceite que pasa al sistema).
- Bomba de aceite dañada, tuberías rotas, etc.
- Falta de aceite.
- Desgaste de los pares de fricción (el exceso de holgura permite pasar más aceite libremente).

Si el manómetro marca alta presión, las causas pueden ser:

- Elevada viscosidad.
- Mucho aceite.
- Mala regulación de la bomba.
- Aceite muy viscoso.
- Aceite frío lo que dificulta la circulación por los conductos.
- Válvula de descarga que no funciona y no limita la presión.
- Conductos obstruidos.

c - Si el manómetro marca cero presiones, las causas pueden ser:

- Avería en el manómetro.
- Falta de aceite en el cárter.
- Filtro obstruido por suciedad.
- La bomba funciona mal debido a rotura del árbol o engranajes.
- Juntas con fugas.
- La válvula de descarga cierra mal por rotura del muelle.

El análisis del aceite como método de diagnóstico

El aceite puede ser utilizado como método de diagnóstico, ya que, en cumplimiento de una de sus funciones, es el medio de evacuación de todas las impurezas que recoge o se forman en él (es la sangre del motor) y es una herramienta que brinda dos posibilidades (Martínez, 2009). Conocer el estado técnico del aceite, lo que permite decidir con bastante exactitud cuándo hay que hacer el cambio del mismo; antes o después del período señalado por el fabricante.

Si es antes, es debido a una contaminación o degradación prematura, con lo que se evita afectaciones al motor y si es después significa ahorro del aceite. Dada la propiedad que tiene el aceite de arrastrar las partículas producto del desgaste en el motor, permite la evaluación global del motor e identificar fallas a nivel de componentes a través de partículas metálicas del desgaste o de sustancias ajenas al aceite (agua, combustible, carbón, sílice, etc.) (Ludema, 2004; Totten, 2018).

El análisis del aceite consiste en la toma de muestras durante la explotación de los vehículos de forma periódica y puede coincidir con el cambio o relleno de aceite.

Son beneficios de la implementación de un programa de análisis de aceite (Amándola, 2004; B. C. M. Bonet, 2006):

- Determinar el momento exacto en que se debe cambiar el aceite.
- Ahorrar en mano de obra y materiales al no realizar cambios de aceite innecesarios.
- Identificar el equipo que funciona debidamente y permite continuar el servicio más allá de lo planificado.
- Evitar los peligros de usar aceites y filtros en estado de degradación que podrían causar graves efectos al motor.
- Permitir seguir los patrones de desgaste del motor a través de un análisis petroquímico.
- Detectar fallas inminentes pueden detectarse en la etapa inicial y puede programarse el mantenimiento adecuado sin períodos de inactividad imprevistos y excesivos.

Principales propiedades de los aceites para los MCI:

- a) Color y fluorescencia (ASTM- D-1500).
- b) Densidad a 15°C (ASTM- D-1298).
- c) Viscosidad cinemática a 40 y 100 OC (ASTM- D-445).
- d) Rigidez dieléctrica (ASTM – D- 877).

En los MCI se emplea la constante dieléctrica como parámetro de diagnóstico (es lo inverso de la rigidez dieléctrica).

- e) Punto de inflamación (PI) (flash point) (ASTM- D-92)
- f) Punto de fluidez o de escurrimiento (ASTM-D-97).
- g) Número Base Total (TBN o BN) (Total Basic Number) (ASTM- D-2896)

- h) 10- Punto de anilina (ASTM – D- 611).

Métodos de análisis de aceite

6.1 Los parámetros clásicos de diagnóstico del aceite que se miden en laboratorios según Bowden & Tabor (1954) y Totten (2018), son los siguientes:

- A) Viscosidad.
- B) Punto de inflamación.
- C) Número básico (BN) o número básico total (TBN).
- D) Contenido de carbón.
- E) Contenido de cenizas.
- F) Insolubles.
- G) Contenido de agua.
- H) Contenido de combustible.
- I) Detergencia – dispersancia.
- J) Densidad.

A) La viscosidad se mide mediante instrumentos llamados viscosímetros que se diferencian entre sí, por la forma como determinan la viscosidad, ejemplo:

Viscosímetro Otswall (para aceites oscuros y mide la viscosidad en cSt).

Viscosímetro Ubbelohde (para aceites claros). Durante la explotación la viscosidad puede disminuir o aumentar.

Son posibles fallos que disminuyen la viscosidad:

- a. Conductos de combustibles con fugas internas.
- b. Contaminación externa por combustible o aceite menos viscoso.

- c. Inyector defectuoso.
- d. Bomba de inyección defectuosa.
- e. Carburador defectuoso.
- f. Degradación del aceite.

Son posibles fallos que incrementan la viscosidad:

- a - Bomba de inyección y/o inyectores defectuosos.
- b - Filtro de aire o conducto de admisión obstruido:
- c - Turbo compresor defectuoso.
- d - Desgaste excesivo del conjunto segmento-camisa.
- e - Fallos del sistema de refrigeración:

Fallos que produzcan fugas de refrigerante al aceite (emulsión).

- f - Aceite degradado:
- g - Aceite contaminado.
- h - Filtro de aceite obstruido o ineficiente.
- I - Fallos del desgaste de componentes del motor.
- j - Oxidación de aceite.
- k - Formación de emulsiones con agua.

Obsérvese que hay un conjunto de fallos que están vinculados con el sistema de alimentación que producen incremento de la viscosidad o una disminución de la misma. Esto puede traer confusión pues en ambos casos las causas están dadas por irregularidades en la combustión, pero debe quedar claro que el aumento de la viscosidad se debe a la contaminación del aceite con residuos carbonosos del humo y hollín que se produce por la combustión incompleta y que penetra al cárter debido al soplado (fuga de gases al cárter) que puede ser mayor o menor en función de los niveles de desgaste del conjunto pistón–segmento–cilindro.

B) Punto de inflamación del aceite. Se mide mediante técnicas para la determinación del punto de inflamación como:

- El método de copa abierta ASTM D 92.
- El método de copa cerrada ASTM D 93.

Igual que la viscosidad, el punto de inflamación puede aumentar o disminuir durante el uso del aceite. El punto de inflamación del aceite usado tiende a subir con el tiempo de utilización debido a la evaporación de las partes volátiles del mismo.

La reducción del punto de inflamación se produce por la presencia de combustible en el aceite.

Nivel de acidez / basicidad del aceite.

Es evidente que los fallos que producen un aumento de la acidez provocan a su vez una reducción de la basicidad propia del aceite.

En general todos aquellos fallos que produzcan un sobre calentamiento del aceite o que contribuyan a que el aceite se contamine con combustible o con residuos de la combustión (contaminación con ácidos inorgánicos (C y azufre) producen una disminución de la reserva alcalina y por tanto una degradación del aceite. Entre los sistemas, elementos y fallos típicos que afectan esta propiedad se pueden mencionar las siguientes:

- a) Bomba de inyección y/o inyectores defectuosos.
- b) Turbocompresor defectuoso.
- c) Filtro de aire o conducto de admisión obstruido.
- d) Aceite degradado.
- e) Aceite contaminado, principalmente con combustible (con elevado contenido de S y ácidos.
- f) Fallos del sistema de refrigeración que produzcan sobre calentamiento del motor.
- g) Mezcla con aceite o aditivos del aceite.
- h) Filtro de aceite obstruido o ineficiente.

D) Contenido de carbón.

Son técnicas de medida de contaminación con materias carbonosas la mancha de aceite y métodos de evaporación y pirolisis del aceite en % la norma ASTM D 189 conocida como el método Conradson y la ASTM D 524 conocida como el método Ramsbottom.

Posibles fallos que debido al incremento del contenido de materias carbonosas:

- a – La combustión incompleta que puede ser causada por:
 - Fallos en el sistema de inyección de combustible.
 - Combustible inadecuado.
 - Turbo compresor roto.
 - Filtro de aire o múltiple de admisión obstruido.
- b - Desgaste excesivo del conjunto aro-pistón-cilindro (facilita el paso de residuos de la combustión al cárter).
- c - Degradación del aceite (produce lacas, barnices, etc. que se consideran productos carbonosos).
- d - Filtro de aceite obstruido o ineficiente (el filtro puede retener el 90 % de las partículas en suspensión si no alcanza su nivel de saturación). Un aumento brusco de partículas en el aceite puede ser consecuencia del filtro de aceite saturado u obstruido.

E) Contenido de cenizas.

Las cenizas de un aceite lubricante representan el residuo que queda después que una muestra de aceite ha sido quemada eliminando todos los componentes orgánicos quedando solo los

inorgánicos. Es de utilidad en el diagnóstico porque permite detectar el comienzo de un desgaste anormal o de una contaminación por materia inorgánica.

El contenido de cenizas en un aceite depende de:

- I. El nivel de contaminación con polvo.
- II. El nivel de contaminación con partículas del desgaste.
- III. El empleo de aditivos con elementos metálicos.

Los fallos que aceleran la contaminación o presencia de cenizas en un aceite son:

- Fallos de desgaste de elementos del MCI.
- Filtro de aire roto o mal instalado.
- Múltiple de admisión no estanco.
- Filtro de aceite obstruido.

F) Insolubles.

Los insolubles se miden mediante métodos que se basan en la sucesiva solubilidad o insolubilidad en diversos disolventes de los productos de alteración del aceite. Los disolventes empleados fundamentalmente son el pentano y el tolueno. También se emplea el conocido como análisis de la mancha (fundamentalmente para concentraciones elevadas de insolubles).

Son fallos típicos los que producen un aumento de insolubles en el aceite:

- a) Bomba de inyección y/o inyectores defectuosos.
- b) Turbocompresor defectuoso.
- c) Fallos de desgaste de componentes del motor.
- d) Filtro de aire roto, obstruido o entrada de aire sin filtrar.
- e) Aceite degradado.
- f) Aceite contaminado con metales y carbón.
- g) Filtro de aceite obstruido o ineficiente.

El diagnóstico del aceite a través de la mancha se realiza de forma subjetiva por la experiencia del experto (otra dificultad de esta técnica) y se basa en el color y forma de la misma. Se debe delimitar muy bien las diferentes zonas y la aureola, ya que, cada una de ellas, da criterios para la conclusión del diagnóstico.

La experiencia se obtiene haciendo los ensayos de la mancha y mandando muestras del mismo aceite a los laboratorios especializados, para después comparar los resultados del laboratorio con la forma y color de la mancha hasta que el especialista pueda hacerlo visualmente.

G) Contenido de agua.

El agua favorece la formación de herrumbre en las partes ferrosas del motor, origina efectos adversos en los aditivos, así como contribuye a la formación de lodos y emulsiones. Por lo general grandes cantidades de agua, pueden ser indicio de filtraciones por las empaquetaduras del motor o por un ajuste ineficiente de la tapa del block. Para este análisis se emplea la norma ASTM D 95.

De acuerdo con el origen de esta contaminación, los fallos se pueden agrupar en dos grandes grupos:

- a) Fallos que reducen el trabajo del MCI a bajas temperaturas (termostato defectuoso o eliminado).
- b) Fallos que producen fugas y pérdida de estanqueidad del sistema de refrigeración del motor (roturas en sellos, grietas en camisas de agua).

H) Detergencia – dispersancia.

Las técnicas de medidas de la detergencia/dispersancia del aceite se realiza a partir de los insolubles, mediante el

parámetro de monitorizado que se define como nivel de detergencia y que representa el cociente entre los insolubles en pentano con y sin coagulante.

La detergencia y dispersancia del aceite en uso están muy relacionadas con el nivel de insolubles del aceite y su reducción se debe fundamentalmente a la degradación del mismo. Por tanto, aquellos fallos que producen un aumento de la velocidad de degradación del aceite influyen en la reducción de estas propiedades y entre ellos se encuentran los siguientes:

- Bomba de inyección y/o inyectores defectuosos.
- Turbocompresor defectuoso.
- Filtro de aire o conducto de admisión obstruido.
- Desgaste del conjunto aro-cilindro-pistón.
- Fallos que produzcan sobre calentamiento del motor.
- Filtro de aceite obstruido o ineficiente.

Métodos rápidos de análisis de aceite

El uso del aceite como herramienta de diagnóstico para conocer el estado técnico del propio aceite, usando los métodos complejos y clásicos en laboratorios especializados, resulta costoso, por el elevado precio de los equipos y por la necesidad de personal especializados para los manejos de estos y la interpretación de los resultados, sin embargo, la utilización del método rápido, de bajo costo y de fácil manejo, da una valoración cualitativa del estado técnico del aceite.

Cuando el operario mide el nivel de aceite, él puede, en ese momento, hacer un diagnóstico subjetivo del aceite:

- I. Mediante la vista: El color del aceite nuevo depende del aceite base y de los aditivos utilizados en su formulación. El aceite usado de color negruzco no indica (sobre todo en los MCI Diésel) baja calidad del mismo, al contrario, indica que está cumpliendo con su función de mantener limpio el motor. Un color muy negro implica que está degradado y contaminado. Contaminado con agua, el aceite toma una coloración blanco-grisáceo, aparecen burbujas. También para conocer la viscosidad, se echa una gota de aceite nuevo y otra de aceite usado en una lámina de cristal o aluminio, se inclina un cierto ángulo y se observa el desplazamiento de ambas gotas

- II. Mediante el tacto: Para determinar viscosidad, dilución, untuosidad. La fricción de una gota entre los dedos puede detectar la presencia de impurezas mecánicas, o si se sienten los dedos calientes y no se percibe la oleaginosidad, entonces esto es síntoma de que ya no tiene la suficiente viscosidad.

La técnica del ensayo de la mancha. Medida cualitativa de las propiedades de detergencia y dispersividad del aceite lubricante, así como de la cantidad de residuos carbonosos (Trujillo, 2003).

Es un método cualitativo y de carácter empírico, para determinar hollín, el poder dispersante residual del aceite detergente y para descubrir presencia de glicol (refrigerante) o agua, combustible y otros contaminantes, así como la oxidación del aceite. El agua, la oxidación y el combustible aparecen en la mancha cuando el porcentaje es alto.

El ensayo de la mancha por la gota de aceite es la técnica más universalmente utilizada en el método rápido, dada las

posibilidades que ofrece para el diagnóstico, su facilidad de aplicación, repetitividad y economía.

Procedimiento: Se deja caer una gota de aceite sobre un papel absorbente, se deja el papel en posición horizontal durante 24 horas y se analiza la evolución de la mancha (color, tamaño) al cabo de 3, 6 y 24 horas. La mancha presenta diferentes zonas en función del estado del aceite (Fig. 1 y 2)

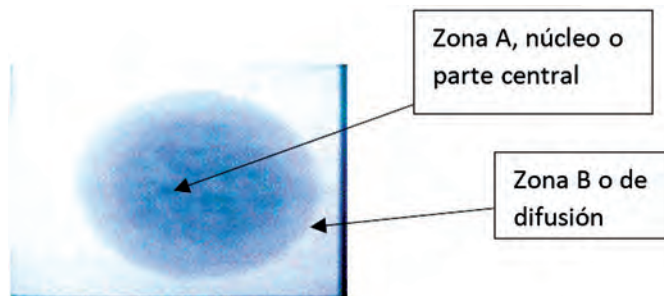


FIGURA 1- Mancha de aceite nuevo.

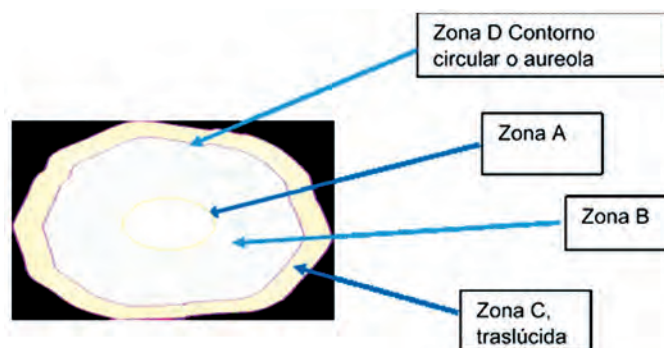


FIGURA 2. Mancha de aceite usado.

La zona A, central o núcleo, su opacidad o coloración (negra) se caracteriza por su color más o menos oscuro, pero uniforme, la cantidad de materia carbonosa en el aceite. El núcleo es donde la gota fue depositada inicialmente.

La zona B, de difusión de color negro a gris caracteriza el poder dispersante residual del aceite detergente. Donde llegan las partículas más finas dispersas en el aceite.

La zona C, traslúcida, aparece desprovista de materia carbonosas y es donde llegan las fracciones más volátiles del aceite (llega el aceite base y el combustible). En su caso normal debe ser traslúcida e incolora, pero puede tomar un color amarillo carmelita en el caso de oxidación.

Contorno D o aureola que rodea y delimita bastante bien el núcleo, representa en cierta forma el frente de desplazamiento de las partículas insolubles hacia el exterior de la mancha y es donde se depositan las partículas más pesadas. Indica con su mayor o menor grosor el contenido de partículas gruesas carbonosas o de contaminantes.

CONCLUSIONES

- En el presente trabajo, se han brindado una relación y análisis de los posibles fallos que pueden tener lugar en los MCI, se han relacionado los métodos de diagnóstico que se emplean e los MCI, describiendo los principales parámetros que se

utilizan en este diagnóstico, referidos al lubricante; explicando cómo deben realizarse estos análisis y las causas de los fallos que cada parámetro puede provocar. Finalmente se relacionan los métodos de diagnóstico que se emplean, diferenciando

aquellos de tipo organolépticos (que son realizados fundamentalmente por los operarios) de los clásicos que se ejecutan a nivel de laboratorios y se analiza el método de la mancha de aceite, como método económico y más simple de análisis.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amándola, L. J. (2004). *Gestión de proyecto de manufactura: Vol. Capítulo 8*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Arias, P. M. (1998). *Manual del automóvil*. Editorial Dossat. S. A.
- Benlloch, M. (1991). *Lubricantes y Lubricación Aplicada*.
- Bhushan, B. (2000). *Modern tribology handbook, two volume set*. CRC press.
- Bhushan, B., & Gupta, B. (1991). *Handbook of Tribology* (Chapter 4). McGraw-Hill.
- Bonet, B. C. M. (2006). *Lubricantes y diagnóstico a través del aceite*. SASA, MINFAR.
- Bonet, C. M. (2016). *Diagnóstico a través del aceite a motores de combustión interna*. Universidad Tecnológica de La Habana.
- Bowden, F. P., & Tabor, D. (1954). *The Friction and Lubrication of Solid*. Oxford Univ. Press.
- Jost, H. P. (1990). *Tribology. Origin and Future* (Vol. 136). Wear.
- Ludema, K. C. (2004). *Friction, wear, lubrication: A textbook in tribology*. CRC press.
- Macián, V., & Figueroa, S. (1993). *El análisis del aceite como instrumento de mantenimiento predictivo de motores Diesel*. VII Ciclo de Conferencias Científicas del I.S.P.J.A.E., La Habana, noviembre, 1993, La Habana, Cuba.
- Martínez, P. F. (2009). *Tribología Integral* (Dewey: 621.89). Editorial Noriega.
- Pirro, D. M., & Daschner, E. (2001). *Lubrication fundamentals*. CRC Press.
- Sinatora, A., & Mesa, D. H. (2003). The Friction and Lubrication of Solid. *Scientia e Technica*, 9(22).
- Totten, G. (2018). *Mechanical Tribology: Materials, Characterization, and Applications*. New York, S.A.
- Trujillo, G. (2003). *Ensayo de la mancha*. Noria Latín América, México, 2003, México.

Francisco Martínez-Pérez, Profesor Titular, Universidad Tecnológica de La Habana (CUJAE), Centro de Estudios de Ingeniería de Mantenimiento, Marianao, La Habana, Cuba,

e-mail: fmartinez@ceim.cujae.edu.cu, fmartinezperez2013@gmail.com ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8947-7870>

El autor de este trabajo declara no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra sujeto a la Licencia de Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.

Servicios Científico-Tecnológicos



- Validación de máquinas y tecnologías agrícolas, (Prueba Estatal).
- Asistencia técnica y Asesoría en el campo de la Ingeniería Agrícola.
- Consultoría técnica de equipamiento e infraestructuras agrícolas para su introducción en los sistemas productivos.
- Servicios de gestión de la información y el conocimiento científico técnico en temáticas de la Ingeniería Agrícola.
- Asesoría y ejecución de programas, evaluaciones, estudios y otras acciones de interés estatal en el campo de la Ingeniería Agrícola.