



Mantenimiento de MEC

Prof. Jesús Araque
Prof. Simón Fygueroa

Contenido

1. Tema 1. Generalidades.
 - Aspectos generales.
 - Antecedentes.
2. Tema 2. Diagnóstico de fallas.
 - Síntomas: definición, límites.
 - Diagnóstico, predicción, origen de fallas en MCI.
 - Sistemas de diagnóstico de fallas en MCI.
3. Tema 3. Diagnóstico global.
 - Introducción.
 - Características de funcionamiento: potencia, consumo de combustible, consumo de lubricante, emisiones contaminantes.
 - Síntomas internos: regularidad de rotación, presión en el cilindro, temperatura de los gases de escape, ruidos y vibraciones.
4. Tema 4. Diagnóstico de los sistemas.
 - Introducción.
 - Sistema de admisión: presión media de admisión.
 - Sistema de escape: contrapresión de escape.
 - Grupo de sobrealimentación: fricción.
 - Sistema de inyección: presión de inyección y de alimentación.

Contenido

- Sistema de refrigeración: temperatura y presión del refrigerante, consumo y estado del refrigerante.
 - Sistema de lubricación: presión media del aceite, consumo de lubricante.
 - Sistema de distribución: compresión, soplado, holgura pistón-camisa.
5. Tema 5. Diagnóstico mediante análisis de aceite.
- Introducción.
 - Síntomas característicos de degradación del aceite: viscosidad, acidez / basicidad, detergencia / dispersividad, constante dieléctrica.
 - Síntomas característicos de la contaminación del aceite: combustible, agua, materia carbonosa, materia insoluble.
 - Análisis de la mancha de aceite: interpretación de manchas.
 - Fundamentos de la espectrometría infrarroja: evaluación de espectrogramas
6. Tema 6. Diagnóstico del desgaste.
- Definición y clasificación del desgaste.
 - El desgaste de los motores.
 - Elementos contaminantes.
 - Origen de los elemento contaminantes.
 - Técnicas de medida: espectrometría, ferrografía, recuento de partículas por tamaño, colectores magnéticos, microscopía.
 - Fallas relacionadas.

Tema 1. Generalidades

Tema 1. Generalidades.

- Aspectos generales.
- Antecedentes.

Aspectos generales

- Uso de MEC: transporte (50%), equipos estacionarios, propulsión de barcos, automóviles.
- Crisis energética debido a: aumento del consumo de combustible, disminución de las reservas.
- Criterios de diseño y construcción de los motores basados en la producción de combustibles de alta calidad, en la utilización óptima de la energía del combustible, el empleo de dispositivos de control de contaminantes.
- Tendencias actuales:
 - Aumentar la potencia específica.
 - Disminuir emisiones (muy importante según las reglamentaciones).
 - Mejorar la eficiencia (muy importante para el usuario).

Aspectos generales

- Mantenimiento del motor para asegurar durante la vida útil del mismo condiciones adecuadas de funcionamiento.
- Líneas de trabajo:
 - Mejorar el desarrollo de potencia del motor: minimizar las pérdidas mecánicas y por transferencia de calor, optimizar los procesos de combustión y formación de mezcla.
 - Mantenimiento: fiabilidad, mantenibilidad y durabilidad en los motores que garantice funcionamiento sin fallas, menores costos de operación y competitividad.
- En el campo de mantenimiento se busca:
 - Desarrollar métodos probabilísticos que permitan controlar y predecir las fallas desde la etapa de diseño.
 - Aumentar la capacidad de conocimiento para poder hacer diagnósticos fiables y rápidos, lo que implica perfeccionar las técnicas y herramientas para poder predecir las fallas: debidas a diseño, fabricación, montaje y uso.

Antecedentes

- Mantenimiento: conjunto de acciones, disposiciones, técnicas y medios que permiten mantener o restablecer un equipo asegurando que cumpla con servicio para el cual ha sido previsto.
- Su objetivo en los años 60 fue reparar las fallas de los equipos lo mejor y antes posible con escasa formación técnica e información del personal.
- En los 70 se implanta el mantenimiento preventivo para incrementar el rendimiento (planificación, control, aumento de vida de los equipos, disminución de costos).
- Problemas para su implantación completa:
 - Costo muy elevado debido a la cantidad de intervenciones innecesarias.
 - Crecimiento incontrolado de la oficina de programación, burocracia, supervisión, administración, etc.
 - Rechazo del personal operativo a la intromisión de personal no especializado.
 - Desconexión entre los planes de mantenimiento y la marcha de la instalación.
- A mediados de los 70 y principios de los 80 el mantenimiento se encamina a reducir costos, mejorar la mantenibilidad y aumentar la disponibilidad.

Antecedentes

- Después de ser una simple acción de corrección de fallas presentadas al azar el mantenimiento es el medio de conseguir la disponibilidad óptima de los equipos en relación a los costos, para lo cual es necesario:
 - Reparar correctamente.
 - Modificar los mecanismos inadecuados.
 - Verificar que las condiciones de trabajo coinciden con las de diseño.
 - Programar las reparaciones.
- La rápida evolución del mantenimiento se ha debido en parte a:
 - La complejidad creciente de las máquinas y equipos.
 - El elevado costo de parada por falla o mantenimiento.
 - Los precios de los equipos y las máquinas.
- El mantenimiento es un servicio que debe asegurar:
 - La disponibilidad deseada.
 - Un equilibrio entre los costos de mantenimiento y producción.
 - Una planificación de las tareas.
 - Un adecuado mantenimiento.
 - Mínimos costos y optimización de los recursos.

Antecedentes

- El mantenimiento debe proveer los siguientes servicios
 - Un sistema riguroso de recolección de información.
 - Un programa de revisiones periódicas.
 - Un procedimiento de análisis de cada uno de los trabajos.
 - Tener capacidad para adaptarse a los nuevos cambios tecnológicos relacionados con la aplicación de la electrónica y sistemas con control de software en muchas maquinarias.
- Tipos de mantenimiento:
 - Mantenimiento correctivo.
 - Se usa la máquina hasta que sobreviene la falla.
 - Mantenimiento preventivo.
 - Inspección total o parcial de la máquina después de cierto período de funcionamiento.
 - Mantenimiento predictivo.
 - Seguimiento del estado de la máquina de forma continua o discontinua.
 - Mantenimiento modificativo.
 - Actividades no propias de un departamento de mantenimiento.

Tema 2. Diagnóstico de fallas

Tema 2. Diagnóstico de fallas.

- Síntomas: definición, límites.
- Diagnóstico, predicción, origen de fallas en mci.
- Sistemas de diagnóstico de fallas en mci.

Síntomas

- Definición: manifestación externa cuantificable que determina el estado o funcionamiento del motor y de sus componentes.
- Los síntomas pueden ser variables:
 - Básicas: longitud, masa, tiempo, temperatura.
 - Primarias: fuerza, potencia, trabajo, energía.
 - Secundarias: par, consumos de combustible y específico de combustible.
- Se obtienen:
 - Del motor directamente: temperatura del refrigerante, presión de lubricación.
 - Bajo condiciones específicas de funcionamiento: consumo de combustible, potencia, control de humos.
 - Para determinados componentes: análisis de aceite, comprobación de bomba de inyección.
- Calificación de los síntomas que determina la condición de funcionamiento:
 - Normal.
 - Crítico.
 - De falla.

Límites

- Límites de un síntoma.

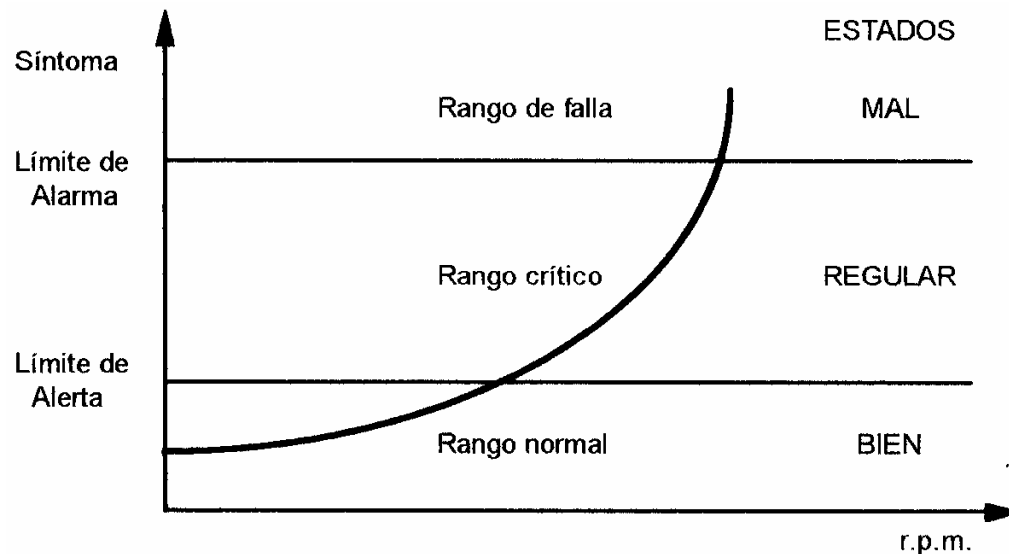


Fig. 1. Límites de un síntoma

- El diagnóstico de fallas de motores es la investigación de los síntomas que llevan a la detección y aislamiento de la falla causante de la irregularidad. Lo cual puede hacerse:
 - En base al comportamiento del motor y sus componentes en estado de funcionamiento normal y anormal.
 - Mediante la experiencia adquirida en diagnósticos anteriores.

Predicción y origen de fallas

- La predicción consiste en recolectar con una frecuencia dada datos e información de los diferentes parámetros utilizando sensores, por ejemplo:
 - Seguimiento: de contaminantes en lubricantes, en el aire y de líquidos, de corrosión, de fugas de gas.
 - Detección de: temperatura, partículas, proximidad, ruido, vibraciones.
 - Telemetría.
- El origen de fallas en MCI es debido a perturbaciones internas y externas que hacen que sus parámetros básicos y característicos se desvíen del valor nominal, las sollicitaciones son de tres tipos:
 - Mecánicas.
 - Transmitidas por y entre elementos del motor durante su trabajo.
 - Térmicas.
 - Generación de calor, fricción, irreversibilidades.
 - Químicas.
 - Reacciones químicas.

Fallas: deficiencia de diseño, fabricación y montaje

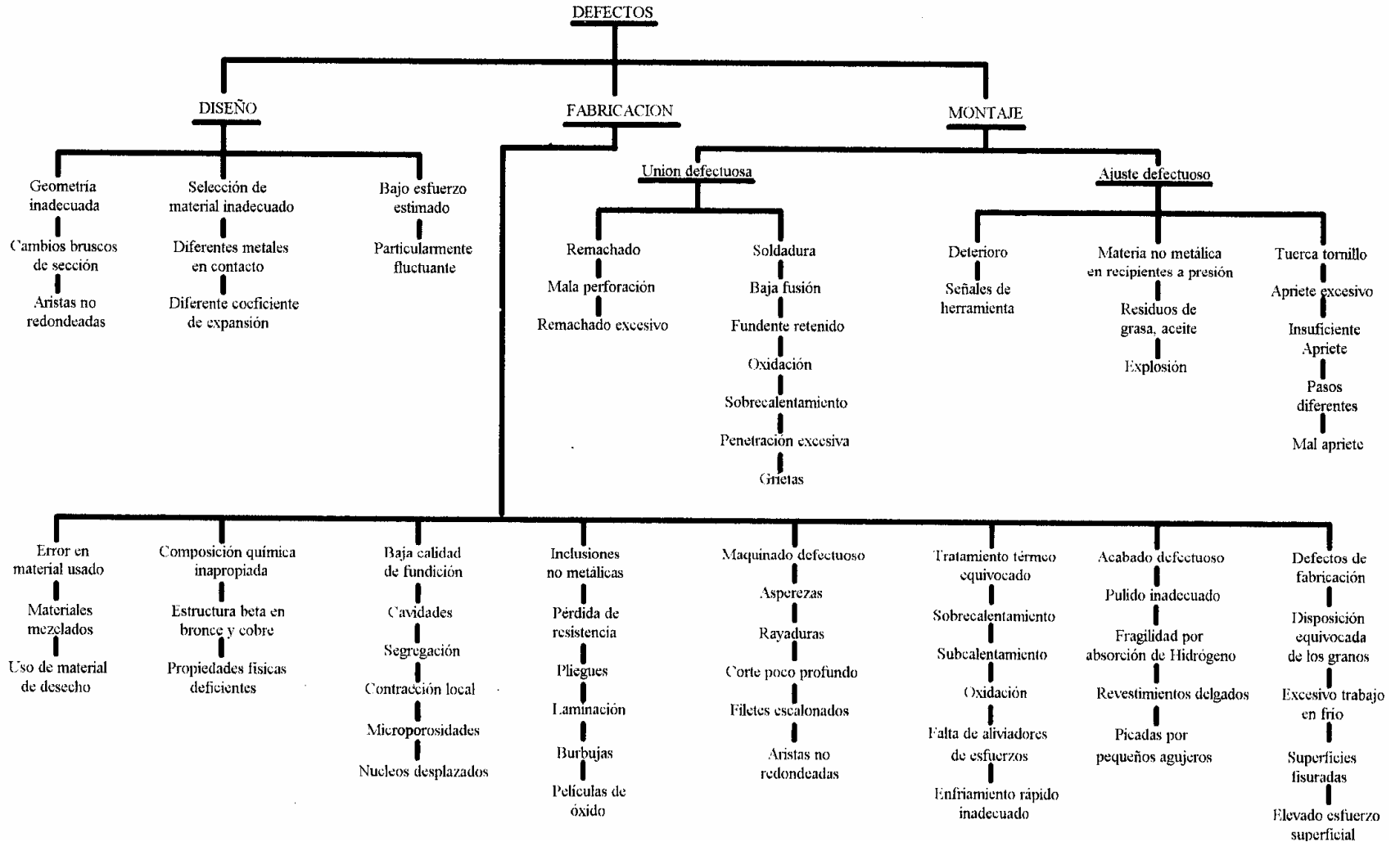


Fig. 3. Causas de fallas debidas a deficiencia de diseño, fabricación y montaje

Tasas de deterioro

- Degradación:

- Reversible: alteran temporalmente ciertas características.
- Irreversible: deterioro progresivo (desgaste, corrosión, deformación plástica).

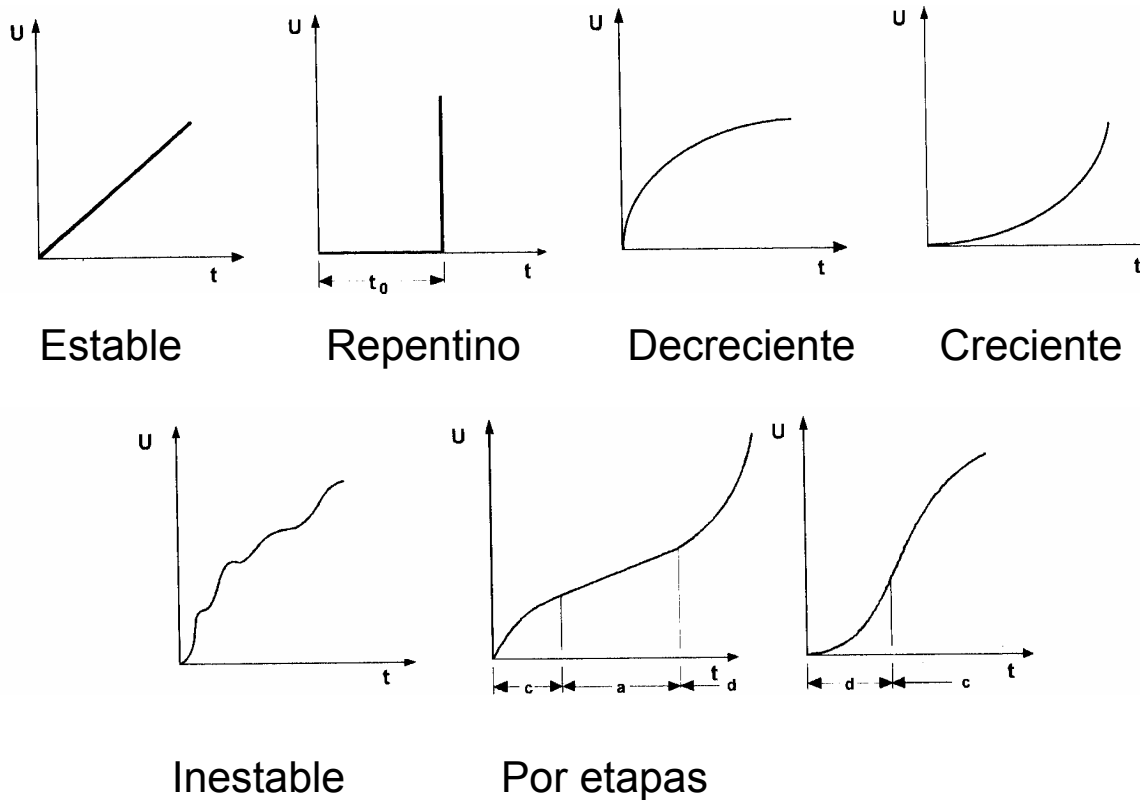


Fig. 4. Diagramas de tasas de deterioro en función del tiempo

Fallas del motor en servicio

- Tipos: de desgaste, fractura, deformación excesiva y daño superficial.

Tabla 1. Causa de fallas del motor en servicio

Causas	Componentes
Desgaste adhesivo	Cilindros, anillos, pistones, levas, empujadores, balancines, guías de válvulas, engranajes.
Desgaste corrosivo	Cilindros, anillos, pistones, levas, empujadores, balancines, muñones, cojinetes.
Desgaste abrasivo	Cilindros, anillos, pistones, levas, empujadores, balancines, válvulas, guías y asientos de válvulas, engranajes, muñones, cojinetes.
Desgaste de fatiga	Levas, empujadores, balancines, engranajes, muñones.
Contaminación	Sistemas de lubricación y refrigeración.
Sobrecalentamiento	Cojinetes, bujías de encendido.
Sobreesfuerzos	Dientes de engranaje, pernos de sujeción.

- En funcionamiento normal el origen de las fallas del motor, lo constituyen principalmente las superficies en contacto.
- Sistemas de diagnóstico en MCI:
 - Diagnóstico convencional.
 - Diagnóstico automático, seguimiento y diagnóstico externo, seguimiento interno y diagnóstico externo, seguimiento y diagnóstico interno

Tema 3. Diagnóstico global

Tema 3. Diagnóstico global.

- Introducción.
- Características de funcionamiento:
 - Potencia.
 - Consumo de combustible.
 - Consumo de lubricante.
 - Emisiones contaminantes.
- Síntomas internos:
 - Regularidad de rotación.
 - Presión en el cilindro.
 - Temperatura de los gases de escape.
 - Ruidos.
 - Vibraciones.

Introducción

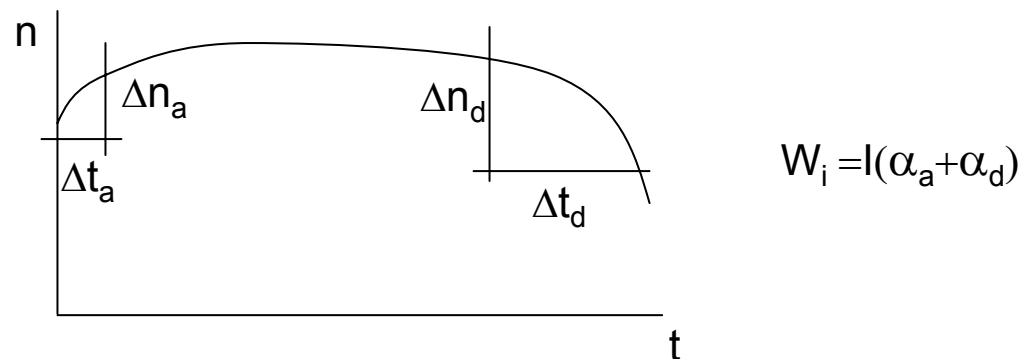
- El material que se presenta muestra un análisis de los síntomas globales del motor basado en dos aspectos: las características de funcionamiento y el funcionamiento interno.
- Para realizar el diagnóstico del motor basado en sus características de funcionamiento se analiza el comportamiento de los siguientes parámetros:
 - Potencia.
 - Consumo específico de combustible.
 - Consumo de aceite.
 - Emisiones contaminantes.
- Para realizar el diagnóstico del motor basado en sus síntomas internos se analizan los siguientes parámetros internos:
 - Regularidad de rotación del eje.
 - Presión instantánea en el cilindro.
 - Temperatura de los gases de escape.
 - Ruidos y vibraciones.

Características de funcionamiento

- Potencia: es un síntoma que aporta mucha información ya que la presencia de cualquier falla la afecta sensiblemente.
- La potencia indicada del motor no se transmite directamente al eje porque una parte es utilizada para vencer las resistencias mecánicas.
- $\dot{W}_{\text{indicada}} = \dot{W}_{\text{resist. mec.}} + \dot{W}_{\text{efectiva}}$
 - La potencia indicada se mide a partir del área en un diagrama pV del ciclo de trabajo característico del proceso termofluidodinámico en el cilindro.
 - La potencia para vencer las pérdidas mecánicas se distribuye en:
 - Fricción: cojinetes de biela y bancada, anillos y cilindro, bulón del pistón.
 - Accionamiento de sistemas auxiliares: bombas de agua y aceite, ventilador.
 - Trabajo de bombeo durante el proceso de intercambio de gases.
 - Accionamiento del compresor para el caso de sobrealimentación mecánica.
 - La potencia efectiva se determina en bancos de ensayos de motores y la misma está afectada por cualquier falla en la potencia indicada o pérdidas mecánicas.

Características de funcionamiento

- En MCI las técnicas para medición de parámetros dependen del tipo de proyecto: investigación, desarrollo, verificación y mantenimiento.
- Los ensayos realizados por fabricantes y usuarios son:
 - En ruta: para estudios de comportamientos de chasis, suspensión y frenado en pistas especiales. Es costoso, largo y poco repetitivo. Sus limitaciones son: peso, pendiente, velocidad, aceleración. Se aplica para contrastar y diagnosticar el motor sólo como medida alternativa.
 - En vacío: se emplean la aceleración y deceleración libre cuando el costo, tiempo, o tipo de falla no exigen prueba con carga. La potencia (par) del motor durante la aceleración sin carga es proporcional a su aceleración angular y la constante de proporcionalidad es el momento de inercia del motor, $\tau = I \alpha_a$, $\alpha_a = \Delta n_a / \Delta t_a$.



Características de funcionamiento

- Con carga: se puede realizar con el motor desacoplado o instalado en el vehículo.
 - En el caso de *motor desacoplado* se utiliza un freno dinamométrico para simular la condición de carga, mediante el cual el motor es puesto a funcionar en un régimen de giro establecido correspondiente a ciertas condiciones de trabajo similares a las de carretera. Con el motor trabajando se miden los principales parámetros característicos: consumos de aire y combustible, potencia, par, etc. Los frenos mas utilizados son del tipo: hidráulicos, oleohidráulicos, eléctricos.
 - El caso de *motor instalado en el vehículo* es de mayor aplicación práctica ya que la potencia puede ser determinada directamente en las ruedas motrices de los vehículos, los sistemas utilizados en este caso son: banco de rodillos los cuales emplean parejas de rodillos acopladas a dinamómetros del tipo hidráulico o eléctrico, medición de torsión de eje.

Características de funcionamiento: potencia

- La potencia al freno en función de la exigencia de carga obedece a la producción de un par adecuado a un consumo específico de combustible óptimo con el cual se cumplan las condiciones de diseño y funcionamiento dentro de límites aceptables que permitan tener un motor fiable, durable y rentable durante su vida útil de explotación.
- En vista de que lo anterior depende de la transformación de energía contenida en un fluido de trabajo en energía mecánica y siendo esta afectada en forma variable por todos sus sistemas se procederá a expresar la potencia en función de cada variable:

$$\dot{W}_e = \rho_o i V_D \left(\frac{n}{30j} \right) \phi \left(\frac{F}{A} \right)_T H_i \eta_v \eta_m \eta_i$$

- Donde: ρ_o = densidad del aire, i = cilindros del motor, V_D = volumen desplazado, n = rpm, j = tiempos del motor, ϕ = riqueza, $(F/A)_T$ = relación combustible-aire teórica, H_i = poder calorífico inferior del combustible, η_v = rendimiento volumétrico, η_m = rendimiento mecánico, η_i = rendimiento indicado.

Características de funcionamiento: potencia

- *Densidad del aire:* $\rho_o = \rho_o(p, T, HR)$, su efecto mayor sobre la potencia es en las zonas altas (produce un 10% de disminución por cada 1000 m de ascenso). Su efecto negativo en ciudad disminuye con el aumento de las rpm.
- *Tamaño del motor:* es constante, lo importante es considerar las fugas en el cilindro que se traducen en una reducción de la cilindrada.
- *RPM:* el mci produce su potencia entre rpm_{\min} y rpm_{\max} . El aumento de potencia obedece a la mejora de la calidad de pulverización, aumento de la velocidad del aire con el aumento de rpm; a altas rpm el empeoramiento de la potencia es debido a la imperfección del llenado y vaciado
- Su efecto negativo no debe tomarse al usar la potencia como síntoma de diagnóstico.
- Fallas relacionadas:
 - Mala estanqueidad de los anillos.
 - Mal cierre de las válvulas.
- Fallas relacionadas
 - En el sistema de inyección: aire en los conductos, fugas, bomba mala, inyector obstruido o mal calibrado, pulverizador incorrecto.
 - Sistema de distribución de gases: fugas en la culata, juego de válvulas inadecuado, depósitos de carbonilla, válvulas y asientos quemados, resorte roto, levas y taqués gastadas
 - En el escape: tubería obstruida

Características de funcionamiento: potencia

- *Eficiencia volumétrica:* influye la velocidad con que el aire es introducido, es función de la velocidad media del pistón y por tanto de las rpm, diseñada para alcanzar su máximo a un régimen dado, es indicativa de perfeccionamiento del sistema de admisión.
- *Riqueza:* debe ser la adecuada para que se realice una buena combustión, si el motor no admite la mayor cantidad de aire posible la potencia estará limitada sin importar la cantidad de combustible que se inyecte.
- **Fallas relacionadas**
 - En el sistema de admisión: filtro sucio, colector de admisión obstruido.
 - En el grupo de sobrealimentación: compresor averiado, turbina averiado.
 - En el sistema de distribución: levas y taqués gastados, anillos malos, mal asentamiento de válvulas, resorte malo, puesta a punto incorrecta, dientes de la distribución rotos.
 - En el escape: colector roto, quemado o tapado, empacaduras averiadas.
- **Fallas relacionadas**
 - Para el sistema de inyección: filtros sucios, bomba de alimentación averiada, baja presión de inyección, toberas sucias, bomba de inyección mal calibrada.

Características de funcionamiento: potencia

- *Poder calorífico del combustible*: es la energía contenida en el combustible, es constante y su cambio solo es posible vía química.
- *Rendimiento mecánico*: compara la potencia producida en el eje con la obtenida en los cilindros, es indicativo de perfeccionamiento mecánico, de manera que evalúa la potencia para vencer el roce entre piezas.
- *Rendimiento indicado*: es indicativo del aprovechamiento de la energía calorífica entregada. Las fallas se relacionan con aspectos de transmisión de calor, relación de compresión producidas por acumulación de depósitos.
- Fallas relacionadas
 - Ningún sistema del motor influye directamente en el poder calorífico.
- Fallas relacionadas
 - Fundamentalmente el sistema de lubricación: bomba de lubricación averiada, fugas internas o externas, temperatura excesiva, líneas de retorno y suministro obstruidas, lubricante inadecuado o diluido.
- Fallas relacionadas
 - Al sistema de admisión: filtro sucio, restricciones en la tubería.
 - Al sistema de inyección: características de atomización no apropiadas, inicio de inyección en un punto incorrecto.

Características de funcionamiento: consumo de combustible

- *Consumo específico de combustible:* es caudal másico de combustible para producir una unidad de potencia. Está ligado a formación de contaminantes, características geométricas del inyector y tipo de sistema de inyección. Depende de factores como: estado del motor, acople motor transmisión, resistencias externas del vehículo, condiciones de conducción y explotación.
- Se mide: añadiendo una cantidad de combustible para un recorrido dado, usando métodos gravimétricos
- Fallas relacionadas
 - Restricción en el sistema de admisión.
 - Sistema de escape obstruido.
 - Problemas con el turbocompresor.
 - Restricción en las líneas de retorno.
 - Obstrucción en filtros o líneas de combustible.
 - Fugas internas o externas de combustible.
 - Defecto de la bomba de inyección.
 - Defecto de los inyectores.
 - Defecto de la bomba de alimentación.
 - Mala lubricación.
 - Pérdida de compresión.

Características de funcionamiento: consumo de lubricante

- *Consumo de lubricante:* cantidad de combustible consumido por unidad de tiempo o para producir un trabajo unitario. Sus causas son: fugas externas e internas, evaporación (17% máximo), combustión. El consumo por evaporación y combustión depende de la temperatura del motor y el tiempo de servicio del aceite.
- En el consumo se consideran los factores: cinemática de los anillos, drenaje del aceite, movimiento secundario del pistón, conformidad anillo camisa, superficie de la camisa.
- Este consumo se mide mediante seguimiento de los añadidos y del nivel de aceite en el depósito.
- Fallas relacionadas
 - Fugas por: empaaduras y retenes deteriorados, grietas en el carter y bloque, tubos y mangueras rotos.
 - Desgaste excesivo de los conjuntos anillo camisa y válvula guía.
 - Obstrucción del tubo de ventilación del carter.
 - Fugas internas del sistema de refrigeración por: empaadura mala, grietas en la culata o camisa.
 - Fallas en los sellos de aceite del turbocompresor.
 - Anomalías en el compresor de aire para los sistemas de frenos y suspensión.
 - Aumento en el volumen de aceite por paso del refrigerante al lubricante: empaaduras rotas, junta de las camisas húmedas rota o grietas en la misma

Características de funcionamiento: emisiones contaminantes

- *Emisiones contaminantes:* son de dos tipos gaseosas (CO, HC, NO_x, SO₂) y humos (partículas sólidas o líquidas menores de 0.1 μm), que salen del motor a través del escape, ventilación del carter y depósito de combustible.
- *El CO:* producto de combustión incompleta formado cuando hay deficiencia de O₂ o la temperatura de combustión no es tan elevada para oxidar el CO a CO₂. En MEC es menor que en MECH.
- *Humo blanco:* partículas de combustible sin quemar, parcialmente quemado o desintegrado. Su origen son las bajas temperaturas durante el proceso de inyección, condiciones de arranque en frío, presencia de agua en la cámara.
- **Fallas relacionadas**
 - Bomba de inyección defectuosa.
 - Filtro de aire obstruido.
 - Turbocompresor ineficiente.
- **Fallas relacionadas**
 - Angulo de avance de inyección muy retardado.
 - Termostato en mal estado o falta del mismo.
 - Grietas en camisas o empacaduras de culata deterioradas.

Características de funcionamiento: emisiones contaminantes

- *Humo azul*: presencia de exceso de lubricante en la cámara de combustión, combustible sin quemar (gotas $0.5 \mu\text{m}$). La cantidad de humo azul es sensible a la temperatura, aumentando al enfriarse el tubo de escape.
- *Humo negro*: partículas sólidas (0.02 a $0.12 \mu\text{m}$) de carbón provenientes de la combustión incompleta. Se origina en las zonas de la cámara donde hay deficiencia de oxígeno junto con presiones y temperaturas altas. El factor que domina la emisión de humos negros es la cantidad de combustible inyectado, de esta manera la potencia del MEC se aumenta hasta alcanzar el límite de humos que se vuelve inaceptable.
- Fallas relacionadas
 - Deterioro conjunto pistón anillo camisa.
 - Desgaste de guías de válvulas.
 - Desgaste de cojinetes, ejes o empacaduras del grupo de sobrealimentación.
- Fallas relacionadas
 - Inyector mal calibrado o defectuoso.
 - Bomba de inyección mal calibrada o defectuosa.
 - Desgaste del conjunto camisa anillos pistón, anillo roto, empacaduras de culata en mal estado, válvulas y asientos deteriorados.
 - Filtro de aire o conducto de admisión obstruido.
 - Grupo de sobrealimentación defectuoso.
 - Tubo de escape obstruido.

Síntomas internos: regularidad de rotación

- *Regularidad de rotación*: variación de la velocidad angular a lo largo del ciclo del motor. En mci se producen aceleraciones y deceleraciones del eje en cantidad igual al número de cilindros, que no son completamente amortiguadas por el volante.
 - Las fluctuaciones anormales de rotación del eje están relacionadas con desequilibrios en el par producido, la medida de la variación de la velocidad angular durante un ciclo es un buen indicador del funcionamiento de los diferentes cilindros.
 - La velocidad instantánea se mide con captadores ópticos y magnéticos, los cuales miden el ángulo de giro del eje.
- Fallas relacionadas
 - Todas las relacionadas con el efecto del régimen de giro sobre la potencia.
 - Grieta o fugas en la línea de inyección de alta presión.
 - Cilindro de la bomba de inyección defectuoso.
 - Inyector obstruido o mal calibrado.
 - Aire en el sistema de inyección.
 - Falla de compresión en algún cilindro.
 - Leva de distribución gastada.

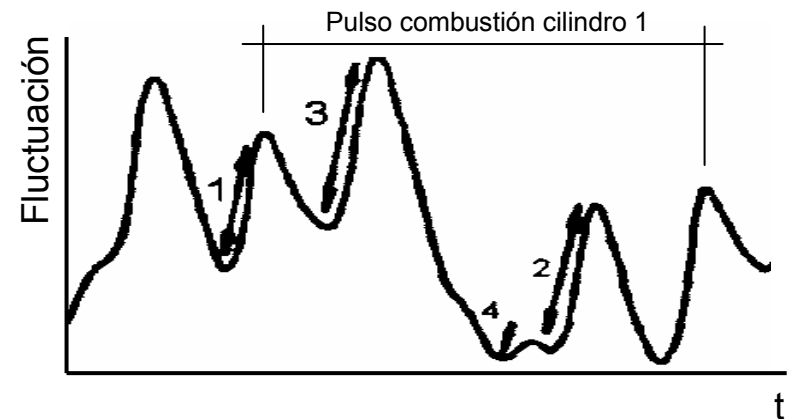


Fig. 5. Velocidad angular con falla, motor 4 cilindros

Síntomas internos: presión instantánea en el cilindro

- *Presión instantánea en el cilindro*: es el resultado de los diferentes procesos a los que se hallan sometidos los gases en el cilindro, influenciado por el movimiento del pistón y la transferencia de calor.
 - Análisis comparativos de diagramas $p-\varphi$ de los cilindros individuales de un motor, con diagramas de referencia en de los mismos en buen estado permite detectar la presencia de fallas.
 - Su uso en diagnóstico de autos es difícil debido a la instrumentación requerida y cálculos complicados.
 - Su medición requiere del empleo de sensores piezoeléctricos y magnéticos para medir simultáneamente la presión y su ángulo de giro correspondiente.
- Fallas relacionadas
 - Todas las que afecten los procesos termofluidodinámicos que ocurren en el cilindro del motor.
 - Las fallas que producen variaciones en la regularidad de rotación del eje del motor igualmente producen cambios en la presión en el cilindro.

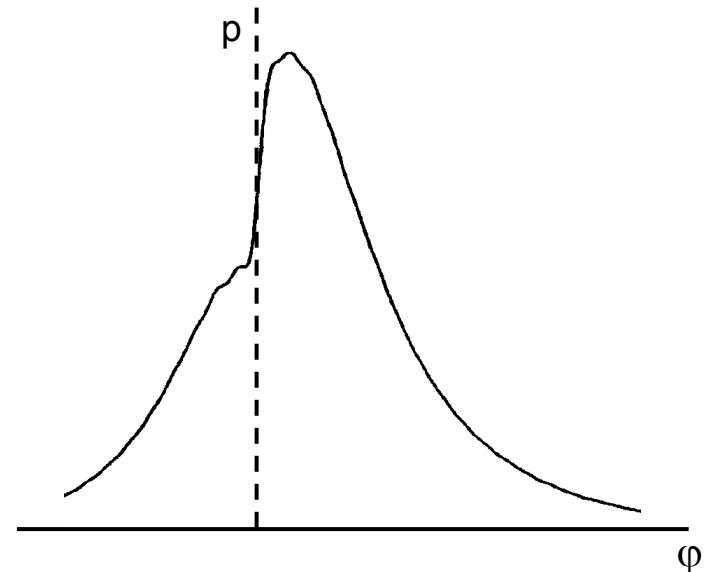


Fig. 6. Diagrama $p-\varphi$ de MEC

Síntomas internos: temperatura de gases de escape

- *Temperatura de gases de escape*: es un síntoma relacionado con el proceso de combustión del motor, aporta información sobre su rendimiento y eficacia de transformación de esta energía.
- Para un régimen de giro y carga su aumento puede significar una disminución del rendimiento con su correspondiente aumento de consumo de combustible o problemas con la distribución de gases.
- Como medida de algún problema se utiliza la temperatura media de los gases.
- Para medirla se emplean termopares (700 °C).
- Fallas relacionadas
 - Defectos de la bomba de inyección que aumentan la riqueza.
 - Mala refrigeración o exceso de depósitos en las paredes de la cámara de combustión.
 - Inyección retardada del combustible.
 - Defectos del sistema de distribución que alteran los momentos de apertura y cierre de las válvulas de escape.

Síntomas internos: vibraciones

- *Vibraciones*: movimientos oscilatorios del motor o de algunas de sus partes debido a fuerzas internas y externas en operación. Su identificación es difícil y compleja ya que el resultado proviene de un gran número de piezas junto a efectos como la inestabilidad del proceso de combustión.
- Existen dos tipos de vibraciones: no deseadas pero no peligrosas para la vida del motor y las originadas debido a funcionamiento anormal.
- Para su medición se emplean transductores de: desplazamiento, velocidad, aceleración o esfuerzo; en función de la estructura del motor y frecuencia de interés. El nivel de vibración es diferente según el tipo de falla.
- Fuentes de vibración
 - Combustión anormal.
 - Holgura y cabeceo del pistón.
 - Golpeteo entre la válvula y su asiento.
 - Holgura en los cojinetes.
 - Mala calibración de la holgura de las válvulas.
 - Engranajes de distribución gastados.
 - Bomba de inyección defectuosa.
 - Eje del motor o volante de inercia desequilibrados.
 - Turbocompresor desequilibrado.
 - Bases del motor deterioradas.

Síntomas internos: ruidos

- *Ruidos*: en forma elemental es un sonido indeseado. Las ondas de presión producidas por la vibración de un elemento viajan a través de un medio y llegan al oído.
- En mci se tienen ruidos producidos por la combustión influenciado por la inyección y crecimiento de presión y mecánicos proveniente de las diversas piezas.
- Se mide con micrófonos (piezoeléctricos, cerámicos, de condensador); sin embargo el ruido propio del motor, el debido a roce y vibración de elementos del vehículo ajenos al motor complican su interpretación.
- Fuentes de ruido
 - Ruidos en el sistema de escape.
 - Ruidos en elementos mecánicos externos como: tubos, láminas, soportes, etc.
 - Cojinetes.
 - Pistón y anillos con holguras.
 - Mal reglaje de los balancines.
 - Falla de la bomba de aceite.
 - Ruidos en taqués y varillas empujadoras.
 - Inyector defectuoso.
 - Bomba de inyección defectuosa.
 - Combustión anormal.
 - Ruidos de admisión.
 - Ruidos ocasionados por accesorios como: alternador, compresor, bomba de agua, correa, ventilador, etc.

Tema 4. Diagnóstico de los sistemas

Tema 4. Diagnóstico de los sistemas.

- Introducción.
- Sistema de admisión:
 - Presión media de admisión.
- Sistema de escape:
 - Contrapresión de escape.
- Grupo de sobrealimentación:
 - Fricción.
- Sistema de inyección:
 - Presión de inyección y de alimentación.
- Sistema de refrigeración:
 - Temperatura y presión del refrigerante, consumo y estado del refrigerante.
- Sistema de lubricación:
 - Presión media del aceite, consumo de lubricante.
- Cadena cinemática y Sistema de distribución:
 - Compresión, soplado, holgura pistón-camisa.

Introducción

- Se estudian los síntomas relacionados con diagnósticos de falla de los sistemas particulares del motor con la finalidad de encontrar rápidamente información específica sobre las fallas de un sistema en particular.
- Se dividen los sistemas del motor de la manera siguiente:
 - Admisión.
 - Escape.
 - Sobrealimentación.
 - Inyección.
 - Refrigeración.
 - Lubricación.
 - Cadena cinemática y distribución.
- Algunos síntomas no son muy específicos y esto puede llevar a que una falla esté relacionada con varios sistemas.

Sistema de admisión

- *Sistema de admisión*: proporciona la cantidad adecuada de aire limpio a la temperatura correcta para que ocurra la combustión en los cilindros.
- Componentes: filtro, colector de admisión, soplador (2T), compresor e interenfriador (SA).
- Presión media de admisión: presión promedio en el múltiple de admisión durante el trabajo del motor, medida de la resistencia que encuentra el aire en su paso por el sistema. El filtro es el elemento que usualmente falla, la tubería se chequea contra fugas.
- Se mide la Δp entre dos secciones a alta velocidad y sin carga, utilizando un manómetro.
- Fallas relacionadas
 - Las que ocasionan caída de presión como: filtro de aire sucio y conductos obstruidos. Estas ocasionan pérdida de potencia en el motor, aumento en el consumo de combustible.
 - Las que permiten el paso de aire sin filtrar como: filtro de aire roto o en mal estado, conductos no estancos. Este problema es perjudicial para el motor ya que el sílice contenido en el polvo atmosférico ocasiona desgaste abrasivo de las paredes del cilindro.

Sistema de escape

- *Sistema de escape*: permite sacar a la atmósfera los gases productos de la combustión de los cilindros del motor.
- Componentes: colector, tubo de escape, silenciador, conexiones y abrazaderas.
- Contrapresión de escape: presión media de los gases de escape, su magnitud varía entre un máximo a la salida de la válvula y la p_{atm} .
- Se mide la Δp en la tubería de escape, en una sección sin cambios de geometría después de la unión de los colectores con el flujo uniforme.
- Exceder esta contrapresión ocasiona: mal funcionamiento, pérdida de potencia y fallas precoces.
- Fallas relacionadas
 - Fugas debidas a daños externos que deterioran los elementos (corrosión).
 - Obstrucciones de la tubería debidas a aplastamientos externos.
 - Obstrucciones en el silenciador o freno motor.

Grupo de sobrealimentación

- *Grupo de sobrealimentación*: permite introducir mayor cantidad de aire al cilindro, con lo cual se quema más combustible y el motor produce más potencia. Esto sin variar las rpm, (sin deteriorar el η_m).
- La anomalía del turbocompresor causa: pérdida de potencia, humos negros y azules, consumo excesivo de aceite, ruidos, aumento de fricción.
- Fricción en el grupo de SA: el coeficiente se mide como el cociente entre la deceleración angular y su régimen de giro (α/rpm). Durante la deceleración desde rpm máximas hasta el ralentí, el compresor se va parando debido básicamente a la fricción: viscosa, metálica.
- Fallas relacionadas
 - Lubricación defectuosa.
 - Cojinetes deteriorados.
 - Obstrucción en el compresor o turbina.
 - Alabes en mal estado.

Sistema de inyección

- *Sistema de inyección*: almacena y suministra combustible en el momento correcto, atomizado adecuadamente, avanza y retarda la inyección en función de rpm y carga.
- Elementos: depósito, filtros, bomba de transferencia, líneas de inyección, bomba de inyección (bi) e inyectores.
- Presión de inyección: p. dinámica del combustible en la línea de alta presión (bomba inyección-inyector). Se emplean transductores piezoeléctricos y captadores de presión indirecta.
- Presión de alimentación: p. del combustible que en la línea de baja presión (depósito-bomba inyección). Se emplean captadores de presión.
- Fallas relacionadas
 - Que producen incremento de presión: inyector: aguja pegada y cerrada, tarado alto, tobera parcialmente obstruida; bomba de inyección: presión de apertura de la válvula de retorno alta.
 - Que producen disminución de presión: inyector: fugas, tarado alto, aguja pegada y abierta; bomba de inyección: resortes de válvulas de descarga y retorno vencidos, filtro obstruido, leva gastada.
 - En el sistema de alimentación: aire en la línea, fugas, obstrucción en filtros y conductos, bomba de transferencia defectuosa.

Sistema de refrigeración

- *Sistema de refrigeración*: diseñado para que el motor alcance rápido una temperatura óptima de funcionamiento y la mantenga dentro de cierto rango durante su trabajo. Una condición de sobre/enfriamiento/calentamiento no es deseable.
- Temperatura del refrigerante: es la del refrigerante cuando el motor esta funcionando, medida a la salida de la culata ($\sim 90\text{ }^{\circ}\text{C}$). Su respuesta es muy lenta ante una falla catastrófica, no detecta fugas ni presencia de aire o vapor, no depende de las rpm.
- Se mide continuamente o solo cuando la temperatura excede un valor límite.
- Fallas relacionadas
 - Fugas.
 - Presión del circuito excesiva.
 - Correa de la bomba mala.
 - Bomba de agua defectuosa.
 - Termostato dañado.
 - Mangueras rotas.
 - Obstrucción del radiador: herrumbre, suciedad, tubos tapados.
 - Ajuste incorrecto del motor: inyección retardada, nivel de aceite bajo, etc.

Sistema de refrigeración

- *Presión del refrigerante*: presión que alcanza el refrigerante en el motor al ser impulsado por la bomba de agua.
- Para medirla se utilizan manómetros colocados a la salida de la bomba. Es función de las rpm.
- *Consumo de refrigerante*: cantidad de refrigerante que se pierde interna o eternamente y es necesario sustituir. Se mide añadiendo una cantidad de refrigerante o manteniendo el nivel en el depósito del radiador.
- El consumo de refrigerante produce una disminución del volumen total de líquido en el circuito lo que reduce su capacidad para disipar calor.
- Fallas relacionadas
 - Que aumentan la presión: termostato malo, obstrucciones en el circuito.
 - Que reducen la presión: obstrucción antes del punto de medición, refrigerante contaminado, bomba defectuosa, correa floja, fugas
- Fallas relacionadas
 - Fugas internas: grietas en la culata o bloque, a través de los conductos de aceite de la culata o bloque, grietas en las paredes del enfriador de aceite, junta de la camisa en mal estado.
 - Fugas externas: sobrecalentamiento, presencia de espumas o burbujas de aire, tapa del radiador mala, mangueras/tubos del sistema malos, abrazaderas flojas, radiador roto, bloque roto.

Sistema de refrigeración

- *Estado del refrigerante:* es el nivel de contaminación o degradación que posee en determinado momento. El estado del refrigerante depende del tiempo de funcionamiento, añadidos y estado de los elementos del sistema.
- Los fabricantes de aditivos y soluciones dan una vida media a éstos de 2 años de servicio.
- Se mide con una revisión visual que pueda dar un diagnóstico por el cambio de color, presencia de partículas contaminantes como: aceite, aire, herrumbre, etc.
- Fallas relacionadas
 - Corrosión o incrustaciones del sistema.
 - Contaminación con el lubricante.
 - Contaminación con aire o gases de combustión.
 - Degradación del aditivo químico y contaminación externa.

Sistema de lubricación

- *Sistema de lubricación:* suministrar a las piezas del motor que están en movimiento una cantidad de aceite suficiente con presión adecuada que asegure lubricación y enfriamiento.
- Componentes: depósito, filtros, bomba aceite, conductos, enfriador, válvula reguladora, indicador de presión.
- Funciones: lubricar piezas en contacto, sellar la cámara de combustión, controlar formación de depósitos y lodos, reducir desgaste, evitar el gripado.
- Su presión se mide empleando un sensor colocado en un lugar crítico del sistema. Este valor depende de la temperatura.
- Fallas relacionadas
 - Aceite diluido.
 - Pérdida de eficiencia del sistema de refrigeración.
 - Desgaste crítico de los cojinetes o ejes lubricados a presión.
 - Filtro de aceite obstruido.
 - Bomba de aceite dañada o desgastada.
 - Falta de lubricante.
 - Anomalía de la válvula de descarga.

Sistema de lubricación

- *Consumo de lubricante:* cantidad de aceite que se debe reponer cada cierto tiempo o espacio recorrido debido a fugas externas o internas.
- *Evaporación del lubricante:* debido a las altas temperaturas alcanzadas en el motor lo cual hace que sus componentes mas volátiles se separen y escapen a través de la respiración del carter. Se emplean procesos de recirculación para quemar estos vapores en la cámara del motor.
- *Consumo por combustión:* debido a desgaste de anillos, paredes del cilindro, guías de válvulas de admisión.
- Se mide por añadidos y manteniendo el nivel en el carter.
- *Fallas relacionadas*
 - Fugas externas debido a juntas deterioradas, carter agrietado, mangueras rotas.
 - Conjunto anillo camisa deteriorado.
 - Fugas internas hacia el sistema de refrigeración por deterioro de la empacadura de la culata.
 - Desgaste de las guías de válvulas.
 - Mal sellado del turbocompresor.
 - Infiltraciones de refrigerante o combustible que pueden disimular el consumo de aceite por contaminación del mismo con ambos o cualquiera de ellos.

Cadena cinemática y sistema de distribución

- *Cadena cinemática*: es el conjunto de elementos para transformación de la energía contenida en el combustible: culata y empaadura, grupo pistón anillos camisa, bielas, bulones, eje, cojinetes de biela y bancada.
- *Sistema de distribución*: elementos mecánicos que permiten realizar el proceso de intercambio de gases: árbol de levas, empujadores, varillas, balancines, válvulas, resortes, engranajes, cadenas o correas.
- *Compresión en el cilindro*: $p_{\text{máx}}$ en el cilindro durante la carrera de compresión, medida sin combustión.
- Se mide: manómetro, mediante transductores, mediante consumo de corriente del motor de arranque.
- Fallas relacionadas
 - Desgaste anormal del pistón.
 - Culata y camisa agrietada.
 - Taqués mal calibrados.
 - Resorte de válvula roto o vencido.
 - Válvula o asiento quemada.
 - Empaque de culata dañado.
 - Desgaste del conjunto anillos camisa.

Cadena cinemática y sistema de distribución

- *Soplado*: es la cantidad de mezcla aire combustible quemada o sin quemar que fluye por unidad de tiempo entre el pistón y las paredes, y en menor medida por las guías de válvulas hacia el carter.
- Se mide usando medidores de flujo continuo: caudal de soplado ($1\% V_D$ para un motor en perfectas condiciones y a plena carga), influencia de las rpm.
- *Holgura pistón camisa*: separación entre el pistón y la camisa, su magnitud varía durante el funcionamiento del motor, debido a desgaste de los elementos.
- Se mide utilizando transductores de proximidad que se instalan en las paredes del cilindro.
- Fallas relacionadas
 - Desgaste conjunto pistón anillos camisa.
 - Desgaste guías y vástagos de válvulas.
- Fallas relacionadas
 - Desgaste o rotura del conjunto anillos camisa.
 - Desgaste anormal del pistón.

Tema 5. Diagnóstico mediante análisis de aceite

Tema 5. Diagnóstico mediante análisis de aceite.

- Introducción.
- Síntomas característicos de degradación del aceite:
 - Viscosidad.
 - Acidez / basicidad.
 - Detergencia / dispersividad.
 - Constante dieléctrica.
- Síntomas característicos de la contaminación del aceite:
 - Combustible.
 - agua.
 - Materia carbonosa.
 - Materia insoluble.
- Análisis de la mancha de aceite:
 - Interpretación de manchas.
- Fundamentos de la espectrometría infrarroja:
 - Evaluación de espectrogramas

Introducción

- Análisis de Aceite: técnica moderna de mantenimiento predictivo que mas se ajusta a los mci, el motor es un sistema lubricado, el aceite transporta todas las impurezas que ingresan o producen en el, por lo cual un análisis periódico de muestras representativas de aceite arroja información sobre:
 - Estado de desgaste.
 - Naturaleza y cantidad de contaminantes.
 - Propiedades físicas y químicas del aceite.
- La muestra: tomarse después de cierto tiempo de trabajo del motor.
- Clasificación de los síntomas según su finalidad:
 1. Para determinar la degradación del aceite.
 2. Para cuantificar la contaminación.
 3. Para identificar y cuantificar el desgaste del motor.
- Los síntomas 1 y 2 definen el estado del aceite (período de cambio).
- Los síntomas 2 y 3 definen el estado del motor (diagnóstico desgaste).

Síntomas característicos de degradación

- Degradación: reducción de la capacidad del lubricante para cumplir sus funciones (lubricar, proteger, limpiar, refrigerar, sellar) debido a alteración de sus propiedades físico-químicas a causa de las condiciones de operación en el motor (altas temperaturas, grandes velocidades de cizallamiento, ambiente corrosivo, contaminación, etc).
- Velocidad de degradación: rapidez con la que aceite pierde sus propiedades, depende de: estado y mantenimiento del motor, calidad del aceite, composición del combustible, tipo de servicio.
- Nivel de degradación: grado de deterioro de sus propiedades iniciales, depende también de: tiempo o kilómetros de servicio, añadidos.
- Síntomas que caracterizan el estado del aceite:
 - Viscosidad.
 - Acidez / basicidad.
 - Detergencia / dispersividad.
 - Constante dieléctrica.

Viscosidad

- *Viscosidad*: permite fijar las pérdidas por fricción y la capacidad de carga de los cojinetes, depende de la temperatura.
- Se mide con viscosímetros: de capilaridad y escurrimiento.
- La viscosidad del aceite en servicio puede permanecer constante, aumentar o disminuir. La causa principal de su disminución es la dilución. Su aumento se debe principalmente a la degradación por: combustión defectuosa, soplado, contaminación interna y externa, presencia de agua.
- Fallas relacionadas
 - Que producen disminución de la viscosidad:
 - Fugas internas de combustible.
 - Contaminación externa con combustible o aceite menos viscoso.
 - Inyector defectuoso.
 - Bomba de inyección defectuosa.
 - Degradación del aceite.
 - Que producen aumento de la viscosidad:
 - Bomba de inyección o inyectores defectuosos.
 - Filtro de aire o conducto obstruido.
 - Turbocompresor defectuoso.
 - Desgaste excesivo del conjunto anillos camisa.
 - Fallas del sistema de refrigeración.
 - Aceite degradado y contaminado.
 - Filtro de aceite obstruido o ineficiente.

Acidez / basicidad

- *Acidez*: es el grado de acidez o alcalinidad, determinado con índices.
- La variación de la acidez / basicidad de un aceite de motor se debe a la incorporación de ácidos inorgánicos provenientes de la combustión, oxidación del aceite debida a altas temperaturas.
- La alcalinidad de un aceite nuevo da información sobre su capacidad de neutralización de los ácidos de la combustión, mientras que la de uno usado da información sobre su degradación y reserva alcalina.
- Fallas relacionadas
 - Bomba de inyección e inyectores defectuosos.
 - Turbocompresor defectuoso.
 - Filtro de aire o conducto de admisión obstruido.
 - Aceite degradado.
 - Aceite contaminado con combustibles de alto contenido de azufre y ácidos.
 - Fallas del sistema de refrigeración.
 - Mezcla con aceite o aditivos del aceite.
 - Filtro de aceite obstruido o ineficiente.

Detergencia / dispersividad

- *Detergencia:* adiciona sustancias detergentes para evitar o disminuir formación de depósitos carbonosos en la zona ranural y falda del pistón, guías y vástagos de válvulas originados a altas temperaturas que causan cambios químicos en el aceite.
- La detergencia reduce la oxidación a alta temperatura y mantiene en suspensión los depósitos.
- *Dispersividad:* permite al aceite separar los lodos húmedos (productos de combustión, carbón, óxidos, agua) originados durante el trabajo en frío del motor.
- Estas propiedades se reducen con la degradación del aceite.
- Fallas relacionadas
 - Bomba de inyección e inyectores defectuosos.
 - Turbocompresor defectuoso.
 - Filtro de aire o conducto de admisión obstruido.
 - Desgaste del conjunto anillos camisa.
 - Aceite degradado.
 - Aceite contaminado con carbón y ácidos.
 - Fallas del sistema de refrigeración.
 - Mezcla de aceite con aditivos incompatibles.
 - Filtro de aceite obstruido o ineficiente.

Constante dieléctrica

- *Constante dieléctrica*: es la capacidad de un medio para conducir electricidad, comparada con la del vacío.
- En los aceites usados este valor aumenta en la medida que este aceite se contamina y degrada, su magnitud esta muy correlacionada con el contenido de carbón y partículas metálicas.
- Su medida se hace comparándola contra la de unas muestras de calibración de referencia.
- **Fallas relacionadas**
 - Incremento moderado por: lodos, suciedad, oxidación y ácidos.
 - Degradación del aceite.
 - Contaminación externa.
 - Filtro de aire roto o mal instalado.
 - Fallas del sistema de refrigeración.
 - Filtro de aceite ineficiente.
 - Incremento grande por: agua, anticongelante, metales, carbón.
 - Bomba e inyectores defectuosos.
 - Turbocompresor defectuoso.
 - Filtro de aire o conducto obstruido.
 - Desgaste de componentes del motor.
 - Aceite degradado.
 - Fallas del sistema de refrigeración.
 - Filtro de aceite obstruido o ineficiente.
 - Disminución por gasoil.
 - Inyector defectuoso.
 - Fugas internas y externas.

Síntomas característicos de contaminación del aceite

- Contaminación: presencia de materias extrañas (partículas y óxidos metálicos, polvo atmosférico, combustible, agua, carbón, ácidos de la combustión y oxidación del lubricante) en el aceite.
- Causas:
 - *Procedencia externa*: polvo atmosférico, agua, carbón, combustible, que ingresan por los sistemas de admisión, lubricación y combustible.
 - *Procedencia interna*: desgaste de las piezas del motor y degradación del aceite.
 - *Introducidas durante fabricación y montaje*: arena residual durante la fundición, abrasivos del esmerilado de válvulas, polvo y virutas del mecanizado, sustancias de limpieza y pulido de piezas.
 - *Introducidas durante mantenimiento*: durante el levantamiento de la tapa de balancines o de la culata.
- Elementos contaminantes:
 - *Elementos metálicos*: originados por desgaste de partes, desgaste abrasivo, rugosidad de superficies, catalización de procesos.
 - *Oxidos metálicos*: originados por desgaste corrosivo del motor y oxidación de partículas metálicas.

Síntomas característicos de contaminación del aceite

- *Impureza y polvo atmosférico*: se introduce a través de la admisión por filtros rotos, ineficientes o conductos con fugas; respiraderos, orificio para medición del nivel o añadir aceite.
 - *Productos carbonosos*: origen en los productos de combustión en el aceite.
 - *Gases de combustión*: entran durante el soplado y forman ácidos que facilitan la degradación del aceite.
 - *Productos de la degradación del aceite*: lacas, barnices, etc. formados por el envejecimiento del aceite.
 - *Agua*: procedente de la combustión y sistema de refrigeración.
 - *Glicol*: fugas internas que degradan el aceite.
 - *Combustible*: se introduce durante el soplado y su origen puede ser: inyectores defectuosos o mal calibrados, combustión deficiente, funcionamiento en frío.
 - *Acidos*: provienen del soplado y degradación propia del aceite. Causan corrosión y catalizan la degradación del lubricante.
- Síntomas de contaminación del aceite:
 - Combustible, agua, materia carbonosa, materia insoluble, elementos metálicos.

Combustible

- *Combustible*: la dilución del lubricante se caracteriza con la viscosidad y el punto de inflamación.
- *Punto de inflamación*: mínima T a la cual los vapores del aceite pueden inflamarse en presencia de una llama.
- Si la viscosidad del aceite disminuye el punto de inflamación también.
- El límite admisible de contaminación 30% de disminución del punto de inflamación (130 °C como referencia).
- Aumenta o disminuye durante el servicio, los aceites usados tienen un punto de inflamación alto debido a la evaporación de sus componentes volátiles. Su disminución es debida a presencia de combustible.
- Fallas relacionadas
 - Inyectores malos, mal calibrados.
 - Desgaste conjunto anillos camisa.
 - Soplado.
 - Fugas internas de combustible.

Agua y materia carbonosa

- *Agua*: proviene de la condensación en el interior de los motores debido a bajas temperaturas, aumento de presión en el carter, fugas del sistema de refrigeración.
 - Puede producir corrosión en los metales y degradación del aceite.
 - *Materia carbonosa*: procedente de los productos de combustión que pasan a través de los anillos.
 - Afecta la función de los aditivos, produce desgaste abrasivo, depósitos en las superficies internas del motor, espesamiento del aceite.
 - Se mide mediante el análisis cualitativo de la mancha de aceite o contenido de materia insoluble.
- Fallas relacionadas
 - Fugas internas del sistema de refrigeración por deterioro de la empacadura de la culata.
 - Fallas relacionadas
 - Fallas en el sistema de inyección.
 - Turbocompresor defectuoso o interenfriador obstruido.
 - Filtro de aire o conducto de admisión obstruido.
 - Desgaste excesivo del conjunto anillos camisa.
 - Degradación del aceite.
 - Filtro de aceite obstruido o ineficiente.

Materia insoluble

- *Materia insoluble*: productos de degradación del aceite como lacas y barnices (zona ranural, falda del pistón), lodos (carter, conductos de lubricación), disuelto en el aceite.
- Su contenido revela información sobre: degradación del aceite, eficacia del filtrado, desgaste, saturación de la capacidad detergente de aceites.
- Fuentes: oxidación, combustión, desgaste, contaminación externa
- Fallas relacionadas
 - Bomba de inyección y/o inyectores defectuosos.
 - Turbocompresor defectuoso.
 - Desgaste de componentes del motor.
 - Filtro de aire roto u obstruido.
 - Aceite degradado.
 - Aceite contaminado con metales, productos de la oxidación y carbón.
 - Filtro de aceite obstruido o ineficiente.

Análisis de la mancha de aceite

- La muestra debe tomarse justo después de la detención del motor.
- Se toma una muestra a 20 °C y otra a 200 °C para comprobar su lubricación adecuada a alta temperatura. Por medio de una varilla se deja caer una gota sobre papel especial.
- La mancha en el papel debe mostrar tres zonas distintas y una línea mas o menos marcada entre las primeras.
 - Zona central: coloración mas o menos oscura, mostrando uniformidad en la cantidad de carbono en el aceite.
 - La aureola: límite de la zona anterior, indica según su espesor y coloración el contenido de partículas gruesas carbonosas o de cualquier otra clase (suciedad).
 - Zona intermedia: de dispersión del
 - carbono o poder de detergencia.
 - Zona exterior: sin materia carbonosa, da idea del grado de oxidación del aceite; debe ser translúcida y sin coloración.

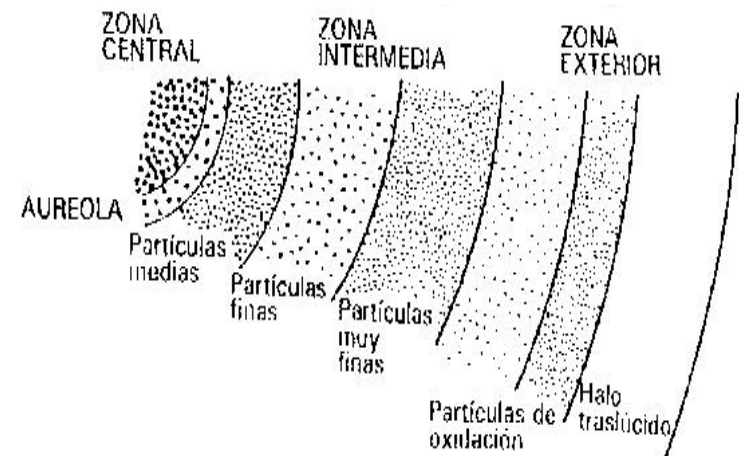


Fig. 7. Zonas de la mancha de aceite

Fundamentos de la espectrometría infrarroja

- Fundamentos:
 - Las sustancias orgánicas presentan frecuencias características de absorción en la región infrarroja y cada espectro de absorción es específico.
 - El espectro de absorción de una mezcla es aditivo.
 - La intensidad de la banda de absorción está relacionada con la concentración de la sustancia que absorbe la radiación.
- Características de una banda:
 - posición: punto en el eje de abscisas donde aparece la banda. Se especifica con uno de los siguientes parámetros: energía, frecuencia, longitud de onda.
 - Intensidad: medida de la cantidad de energía absorbida por la sustancia. Se especifica con la transmitancia o la absorbancia
 - Transmitancia: $T = E_{\text{radiante}} / E_{\text{radiante incidente}}$
 - Absorbancia: $A = \log 1/T$
 - Forma: ancha, estrecha, aguda, etc.
- Espectrograma: variación de la intensidad incidente en función de la diferencia de la longitud de onda de las trayectorias

Espectrograma

- Aceite nuevo:
 - Picos de absorción de energía debidos a las vibraciones de tensión de los enlaces C-H, (2900-3000 cm^{-1} , 1370-1450 cm^{-1}), debido a la vibración de moléculas con mas de cuatro grupos CH_2 (720 cm^{-1}).

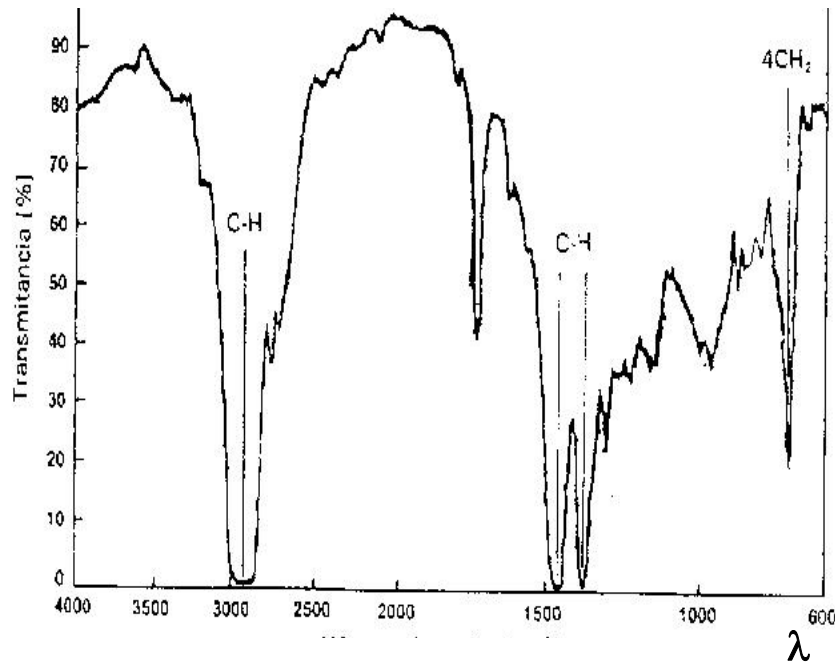


Fig. 8. Espectrograma de un aceite nuevo

- Aceite usado:
 - Picos de absorción por contaminación y degradación, oxidación: enlace C=O (1700-1750 cm^{-1}), sulfatación: presencia de SO_3 (1100-1200 cm^{-1}), nitración N=O (1630-1285 cm^{-1}) dilución de combustible (810-790 cm^{-1}).

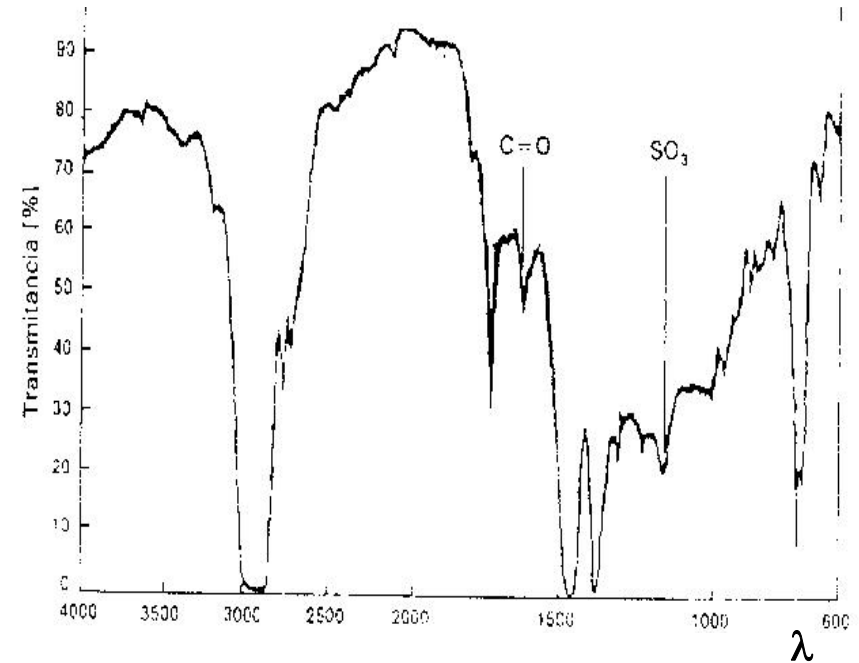


Fig. 9. Espectrograma de un aceite usado

Tema 6. Diagnóstico del desgaste

Tema 5. Diagnóstico del desgaste.

- Definición y clasificación del desgaste.
- El desgaste de los motores.
- Elementos contaminantes.
- Origen de los elementos contaminantes.
- Técnicas de medida:
 - Espectrometría.
 - Ferrografía.
 - Recuento de partículas por tamaño.
 - Colectores magnéticos.
 - Microscopía.
- Fallas relacionadas.

Definición y clasificación del desgaste

- Es la variación dimensional producida por la pérdida de material de dos superficies deslizantes en contacto. Produce holguras, picadura, rayado, grietas, etc. Durante el asentamiento o rodaje puede ser beneficioso.
- Tipos:
 - Primario: adhesivo, abrasivo, corrosivo, fatiga.
 - Secundario: corrosivo por contacto, desgaste por cavitación, desgaste de origen eléctrico.
- *Desgaste adhesivo*: transferencia de partículas entre dos superficies deslizantes, existe pérdida de material por el conjunto o adherencia del metal blando al duro.
- *Desgaste abrasivo*: desprendimiento de materia de una superficie debido a presencia de elementos de alta dureza, ejemplo la erosión causada por un fluido que contiene partículas duras y finas.

Definición y clasificación del desgaste

- *Desgaste corrosivo*: levantamiento por fricción mecánica de los productos de reacción formados por el ataque químico de agentes corrosivos del entorno: productos de combustión, oxidación del aceite, descomposición térmica.
- *Desgaste por fatiga*: entre dos superficies en movimiento de rodadura pura o de rodadura y deslizamiento combinados, con lubricación elastohidrodinámica, sometidas a una carga que produzca esfuerzos hertzianos. Se presenta entre superficies en deslizamiento puro con cargas cíclicas importantes, como en cojinetes de mci. Forma grietas o cavidades (picado) en la superficie del metal.
- *Corrosión por contacto*: se presenta cuando dos superficies cargadas y en contacto se someten a movimiento vibratorio de baja amplitud y alta frecuencia (torsión, flexión, deslizamiento). Se observa en conjuntos ensamblados que no deben poseer movimientos relativos, ejemplos: amortiguadores de vibraciones, volantes de MEC.

Definición y clasificación del desgaste

Desgaste por cavitación: producido por un sólido en movimiento respecto a un líquido en una zona de rompimiento de burbujas (vapor, gas disuelto en el líquido, aire de aireación intensa) que provocan localmente puntos de presión o temperatura elevados.

- *Desgaste de origen eléctrico:*
 - El picado eléctrico (chispas debidas a una descarga eléctrica a través de la interfase, forma cavidades; se presenta en los electrodos de las bujías).
 - La corrosión galvánica (entre dos metales diferentes que forman un par galvánico; ataque electrolítico).

El desgaste de los motores

- Es complejo ya que sus tipos no se presentan aisladamente, sino que actúan varios de ellos, ocasionando: pérdida de potencia, reducción de la vida útil, reducción de eficiencia, disminución del tiempo de cambio de aceite.

Tabla 2. Tipos de desgaste en las diferentes partes del motor.

Parte	Adhesivo	Corrosivo	Abrasivo	Por fatiga	Erosivo
Camisa, anillos, pistones	X	X	X		
Levas, empujadores, balancines	X	X	X	X	
Vástago guía de válvula	X		X		
Apoyo asiento de válvula			X		X
Engranaje de distribución	X		X	X	
Muñones		X	X	X	X
Cojinetes		X	X		X
Bomba de aceite	X		X	X	
Bomba de combustible	X		X	X	
Bomba de inyección	X		X	X	

El desgaste de los motores

Tabla 3. desgaste y origen

Desgaste	
Adhesivo	Elevados picos de esfuerzos y reducido espesor de la película de aceite (lubricación límite, si se rompe la película puede producirse la falla).
Corrosivo	Relacionado con productos de la combustión y tipo de combustible. Los componentes ácidos de la degradación del lubricante atacan químicamente alguno de los metales.
Abrasivo	Acción de partículas aisladas (dureza, tamaño, cantidad) que actúan sobre cualquier superficie de fricción. Altas temperaturas y escaso suministro de aceite (arranque en frío)
Fatiga	En engranajes se presenta un ciclo de contacto que varía entre el deslizamiento y la rodadura

Elementos contaminantes

- Metálico o no, que se encuentran en el aceite provenientes de fuentes externas e internas del motor. Su análisis de información sobre el desgaste interno del motor e indica las posibles fuentes de contaminación.

Tabla 4. clasificación de los elementos contaminantes

De desgaste	De contaminación	De aditivo
Aluminio (Al)	Bario (Ba)	Bario (Ba)
Cobre (Cu)	Boro (Bo)	Calcio (Ca)
Cromo (Cr)	Silicio (Si)	Silicio (Si)
Estaño (Sb)	Sodio (Na)	Zinc (Zn)
Hierro (Fe)		
Níquel (Ni)		
Manganeso (Mn)		
Plomo (Pb)		
Silicio (Si)		
Titanio (Ti)		

Elementos contaminantes

Tabla 5. Origen de los elementos espectrométricos

Elemento	Origen
Aluminio (Al)	Pistones, cojinetes, polvo atmosférico
Bario (Ba)	Fugas de refrigerante, aditivo detergente
Boro (Bo)	Polvo atmosférico, aditivo refrigerante
Calcio (Ca)	Aditivo detergente
Cobre (Cu)	Cojinetes de bronce, latón y cobre plomo, bujes, fugas de refrigerante
Cromo (Cr)	Camisas, anillos cromados, aditivo refrigerante
Estaño (Sb)	Cojinetes de bronce, tuberías de lubricante
Hierro (Fe)	Cilindro, anillos, muñones del eje, mecanismo de distribución, engranajes
Níquel (Ni)	Camisas, válvulas de alta resistencia, engranajes de distribución
Manganeso (Mn)	Válvulas
Plomo (Pb)	Cojinetes de cobre plomo
Silicio (Si)	Aire atmosférico, aditivo antiespumante, camisas de fundición
Sodio (Na)	Fugas de refrigerante
Zinc (Zn)	Cojinetes de latón, aditivo antioxidante

Técnicas de medida

- *Espectrometría*: se basa en el análisis del espectro electromagnético de los diferentes elementos que componen el material a estudiar.
 - Los diversos tipos de espectrómetros permiten estudiar desde uno hasta diferentes elementos simultáneamente, partículas $< 5 \mu\text{m}$.
- *Ferrografía*: separa magnéticamente partículas ferromagnéticas en muestras de aceite usado, incluye Al o Br con trazas de materiales ferrosos.
 - Determina las causas de posible falla y predice como remediarlo, mide y evalúa las partículas (2-20 μm) de desgaste, identifica el tipo de desgaste, bajo costo.

Técnicas de medida

- *Recuento de partículas por tamaño*: proporciona una distribución de tamaños de partículas de desgaste o contaminantes en la muestra.
 - Resultados confusos al contar todo tipo de partícula, no indica la forma o composición de la partícula, técnica suplementaria en mci.
- *Colectores magnéticos*: permite la separación por atracción magnética de las partículas de la muestra que sobrepasan un cierto tamaño.
 - Identifica tipo y tasa de desgaste, permite emplear cualquier técnica de medición para determinar la tasa de desgaste, debe considerar que: durante el funcionamiento normal (se tienen partículas finas, cortas y de sección irregular), en el rodaje (se tienen muchas virutas metálica, residuos de fabricación y ensamblaje y luego con la estabilización del funcionamiento esto disminuye), partículas $>200 \mu\text{m}$.

Consideraciones importantes sobre la técnica de medición

- *Las partículas pequeñas:*
 - Tienen mayor persistencia en el lubricante.
 - Las provenientes de microgripado o micropicado se generan continuamente y en gran cantidad.
- Las partículas grandes:
 - Tienen tendencia a adherirse a los colectores siendo atrapadas fácilmente.
 - Procedentes de desgaste por fatiga se producen por ráfagas y en pequeña cantidad.
- Técnica de medición recomendada según el tamaño de la partícula
 - Espectrometría < **5** μm Ferrografía < **100** μm Colectores Magnéticos > **200** μm

Fallas relacionadas

Tabla 6. Fallas relacionadas

Pieza del motor	Contaminante: partículas	Aceite / Fuente de contaminación
Conjunto anillos camisa	Anillos: Fe y Cr Camisa: Fe	Anillos y camisa
Pistón y zona ranural	Pistón: Al , Si, Fe	Pistón y ranuras
Eje	Eje: Fe , (1% Ni, 1% Cr), (1% Cr-Mo, 1.5%Ni-Cr-Mo)	Eje
Cojinetes: biela y bancada	Metal blando: Br (Cu-Sb), Pb , Al	Cojinetes
Bulón y buje de biela	Bulón fijo: Cu , Fe Bulón semiflotante: Al , Fe	Bulón
Arbol de levas y empujadores	Arbol de levas: Fe Empujadores: Fe	Arbol y empujadores
Guía, asiento y vástago de válvula	Cuía y asiento: Cu , Sb , Fe Vástago: acero austenítico	Guía y asiento

Fallas relacionadas

Tabla 6. Fallas relacionadas

Pieza del motor	Contaminante: partículas	Aceite / Fuente de contaminación
Bomba de lubricación	Bujes: Br Engranajes: acero	Bujes y engranajes
Engranaje de distribución	Engranajes: acero al Ni	Engranaje
Cojinetes del grupo de sobrealimentación	Ejes: acero Bujes y cojinetes: Br y Pb	Bujes y cojinetes
Motor muy gastado	Niveles altos de todos los metales	Pistón, anillos, árbol de levas, cojinetes, etc
Filtro roto o mal instalado	Si	Filtro
Sistema de refrigeración	Radiador: Cu, Br Refrigerante: Br, Cr	Radiador, junta de culata, tapón.