

**DISEÑO DE UN MODELO MATEMATICO DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO  
PARA CUANTIFICAR EL DESGASTE DE LOS MOTORES DIESEL DE LA  
EMPRESA INTERCOR - EL CERREJÓN ZONA NORTE**

**LUIS ARMANDO MORALES QUINTANA**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLIVAR**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**

**CARTAGENA DE INDIAS D.T.y C.**

**2002**

**DISEÑO DE UN MODELO MATEMATICO DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO  
PARA CUANTIFICAR EL DESGASTE DE LOS MOTORES DIESEL DE LA  
EMPRESA INTERCOR - EL CERREJÓN ZONA NORTE**

**LUIS ARMANDO MORALES QUINTANA**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de  
Ingeniero Mecánico

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**CARTAGENA DE INDIAS D.T.y C.**

**2002**

Nota de aceptación

---

---

---

---

Presidente del jurado

Jurado

---

Jurado

---

Cartagena, enero 25 de 2002

# CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	1
1. INFORMACIÓN GENERAL INTERCOR	2
1.1 UBICACIÓN GEOGRAFICA	2
1.2 BREVE RESEÑA HISTORICA DE INTERCOR	4
1.3 LOS NUEVOS SOCIOS	7
1.4 EL PROCESO	8
1.4.1 La Mina	8
1.4.2 El Ferrocarril minero	10
1.4.3 Puerto Bolívar	11
1.5 EL PRODUCTO	12
2. EVOLUCIÓN DEL CONCEPTO DE MANTENIMIENTO	14
2.1 PRIMERA GENERACIÓN	15
2.2 LA SEGUNDA GENRACIÓN	15
2.3 TERCERA GENERACIÓN	16
2.3.1 Nuevas expectativas	16
2.3.2 Nueva investigación	18
2.3.3 Nuevas técnicas	19
2.4 MODELOS DE FALLA	19
3 ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS EQUIPOS ANALIZADOS	22
3.1 CATERPILLAR 793B	22
3.2 CATERPILLAR 793C	24
3.2.1 Dimensiones	24
3.2.2 Condiciones de clasificación de potencia	24
3.2.3 Características del motor	25

3.3	DETROIT DIESEL	25
3.4	ESPECIFICACIONES CUMMINS	28
4	CONSIDERACIONES PARA INICIAR EL DISEÑO DEL INDICE DE CONDICIÓN DE MOTORES (ICM).	29
4.1	PARAMETROS A CONSIDERAR EN LA EVALUACIÓN DE LOS MOTORES	30
5.	ANALISIS DE LOS PARÁMETROS QUE INDICAN LA CONDICIÓN DE LOS MOTORES DIESEL	32
5.1	DILUCIÓN	33
5.2	ACEITE LUBRICANTE	36
5.2.1	Lubricante	37
5.2.2	Refrigerar	38
5.2.3	Limpieza	39
5.2.4	Sirve como sello	40
5.2.5	Protección	41
5.3	PROPIEDADES DEL ACEITE LUBRICANTE	41
5.3.1	Aditivos	42
5.3.2	Viscosidad	43
5.3.3	Aumento de la viscosidad	45
5.3.4	Reducción de la viscosidad	45
5.3.5	Sólidos suspendidos y alteración del polímero VII de los aceites multigrados	45
5.4	ANALISIS DE ACEITE	47
5.5	ANALISIS Y DIAGNÓSTICOS	48
5.5.1	Análisis de desgaste	48
5.5.2	Pruebas químicas y físicas	49
5.5.3	Análisis del estado del aceite	51
5.6	METALURGIA DE ALGUNAS PIEZAS DEL MOTOR	52
5.7	INTERPRETACIÓN DE LOS CONTAMINANTES DE EL ANALISIS DE ACEITE. SINTOMAS Y CAUSAS	55
5.8	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	61

5.8.1	Contenido de anticongelante	64
5.9	ANALISIS DE LOS REPORTES DE ALARMAS Y ORDENES DE TRABAJO	67
6.	FORMULACION DEL INDICE DE CONDICIÓN DE MOTORES (ICM)	74
6.1	FECHAS DE CORTE	
6.2	REPARACIONES	
6.3	INDICE DE CONDICIÓN DE ACEITES	
6.3.1	Índice de condición presente (ICP)	
6.3.2	Índice de condición histórica (ICH)	
6.3.3	Índice de condición combinatorio (ICC)	
6.4	CONSUMO DE COMBUSTIBLE	
6.5	CONSUMO DE ACEITE	
6.6	ANÁLISIS DE ORDENES DE TRABAJO (OT's)	
6.7	CÁLCULO DEL ICM	
7.	CÁLCULO DE LAS ECUACIONES QUE PRONOSTICAN LA VIDA ESPERADA DEL MOTOR	
7.1	AJUSTE LINEAL	
7.2	AJUSTE POLINOMICO	
7.3	PREDICCIONES	
7.4	MÉTODO DE NEWTON - RAPHSON	
8.	BENEFICIOS DE CONTAR CON UNA HERRAMIENTA PREDICTIVA QUE CUANTIFICA EL DESGASTE DE MOTORES DIESEL	
9.	FALLAS TÍPICAS RELACIONADAS CON EL ACEITE LUBRICANTE	
9.1	SISTEMA DE LUBRICACIÓN	
9.2	FALLA EN LOS COJINETES	
9.3	FALLA EN CIGÜEÑALES	
9.4	FALLA EN LOS PISTONES, ANILLOS Y CAMISAS	
9.5	FALLA EN VÁLVULAS	
9.6	FALLAS EN TURBOALIMENTADORES	
10.	ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	

- 10.1 ANALISIS DEL CAMIÓN 0220338 DE LA FLOTA CATERPILLAR
  - 10.1.1 Fechas de corte
  - 10.1.2 Análisis de aceite
  - 10.1.3 Repuestos
  - 10.1.4 Análisis de ordenes de trabajo
  - 10.1.5 Consumo de aceite
  - 10.1.6 Consumo de combustible
  - 10.1.7 Cálculos de ICM
- 10.2 PREDICCIONES BASADAS EN ICM Y SU CONFIABILIDAD
- 10.3 OTROS EQUIPOS ANALIZADOS
  - 10.3.1 Cummins
  - 10.3.2 Detroit Diesel
  - 10.3.3 Cat 793B
  - 10.3.4 Cat 793C

## BIBLIOGRAFIA

MARTINEZ, Ciro. Estadística y Muestreo. Novena edición, Santa Fe de Bogotá, D.C.: Ecoe ediciones, 1999. P(85-138 y 523-597).

CATERPILLAR. Manual de rendimiento Caterpillar. Edición 27, Peoria, Illinois, EE.UU: editada por Caterpillar Inc., 1999. p(9-1 a 9-42).

CUMMINS. Operation and Maintenance Manual K38 and K50 Engine Series. Edición Cummins Engine company, Inc. 1993. p(1-1a 1-13).

PAZ, Arias. Manual de Automóviles. Edición 50, Madrid, España: editorial Dossat s.a., 1990. p(377-424)

DETROIT DIESEL . Service Manual, Detroit Diesel Engines serie 149. Detroit, Michiga, U.S.: edición Detroit Diesel Corporation. 1993. Sección 1

## **1. INFORMACION GENERAL INTERCOR**

INTERNATIONAL COLOMBIA RESOURCES CORPORATION (INTERCOR) empresa filial de EXXON-MOBIL que en sociedad con la empresa industrial y comercial del estado CARBOCOL (en este momento los derechos de Carbocol sobre el Cerrejón-Zona Norte fueron vendidos, más adelante se hará referencia a cerca de los nuevos socios), está encargada del contrato de explotación del complejo carbonífero El Cerrejón Zona Norte. La sociedad tiene como órgano regente un comité ejecutivo, el cual es la máxima autoridad del complejo y está conformado por miembros de ambas empresas.

Dentro de la sociedad conformada por estas empresas, se estableció que INTERCOR se responsabilizaría de la construcción de la infraestructura y de la operación del complejo, por tanto INTERCOR es la encargada de las operaciones de producción, manejo, transporte y embarque de carbón.

### **1.1 UBICACION GEOGRAFICA**

El Cerrejón es una montaña de elevación cónica, que domina el valle del río Ranchería, dónde se hallan los yacimientos de carbón. El yacimiento del Cerrejón

cubre un área aproximada de 78.000 hectáreas en el departamento de La Guajira, entre los municipios de Maicao al Norte y Barrancas al sur (tal como se observa en la figura 1).

El área dónde hay carbón cubre tres zonas: la Zona Norte, dónde opera INTERCOR, la zona Central y la Sur. El complejo carbonífero consta de tres instalaciones básicas: la Mina, el Ferrocarril y el Puerto.



**Figura 1** Localización de la mina

Dentro de las instalaciones de la mina resaltan los silos, la planta de lavado, los talleres de mantenimiento, el área de oficinas y el campamento.

El puerto por dónde sale el carbón está ubicado en el municipio de Uribia sobre la Bahía de Media Luna, a la entrada de Bahía Portete y puede recibir buques de

150.000 toneladas. En las instalaciones del puerto también se encuentra: un edificio de operaciones portuarias, un sistema de almacenaje y cargue de barcos, un aeropuerto y un área residencial. En la figura 2 se observa un mapa de las instalaciones de este importante centro de exportación del mineral.



**Figura 2** Instalaciones en Puerto Bolívar

## 1.2 BREVE RESEÑA HISTORICA DE INTERCOR

Así nació El Cerrejón, uno de los proyectos industriales más grandes del país, la mina de carbón a cielo abierto más importante de América y una de las más grandes del mundo.

En 1865, el norteamericano John May, descubrió grandes depósitos de carbón en las orillas del río Cerrejón y los llamó: "Minas de Carbón de Canel". Años más

tarde, en 1878, dirigió una propuesta para la explotación del mineral al entonces presidente de la república Julián Trujillo, pero esta nunca tuvo respuesta.

En 1894, los franceses propusieron comprar La Guajira, con el objeto de explotar el recurso mineral allí existente.

En 1951 el **IFI** (instituto de fomento industrial) hace estudios geológicos en la zona y diez años más tarde firma un contrato con los indígenas de Palmarito (zona central del Cerrejón) para pagarles regalías por la explotación del mineral. El gobierno alcanza a firmar dos contratos con empresas extranjeras, pero estos nunca se cumplieron.

En 1975, **ECOPETROL** abre una licitación internacional para la exploración y explotación del carbón en la zona norte del Cerrejón. Luego de estudiar las propuestas, se decide por la presentada por **INTERCOR** ( Internacional Colombia Resources Corporation).

El 17 de diciembre de 1976 CARBOCOL (empresa del estado colombiano), firma un contrato de asociación con INTERCOR para la exploración, construcción y explotación del complejo carbonífero del Cerrejón Zona Norte.

El contrato tiene una duración de 33 años, dividido en tres etapas:

➤ **Primera etapa**

Exploración y realización de estudios de factibilidad en el período 1977-1980

➤ **Segunda etapa**

Construcción de la infraestructura del complejo (mina, ferrocarril, puerto) con una inversión de 2835 millones de dólares en el período 1981-1986.

➤ **Tercera etapa**

Con una duración de 23 años, se inicia en 1986 y se dedicará a la producción de carbón a gran escala para su exportación a los mercados internacionales. Al finalizar esta etapa en el año 2008, todos los bienes y las instalaciones pasarán a manos de CARBOCOL. El contrato de asociación es por partes iguales, tanto en inversión como en beneficios.

Además INTERCOR debe pagar a CARBOCOL una regalía básica del 15% sobre el mineral, lo cual hace que la participación de Colombia aumente hasta el 57.5% quedando a INTERCOR el 42.5% restante.

A partir del 17 de enero de 1983, se comienza la construcción del ferrocarril y en enero del mismo año adquiere dos aviones "Dash-7" para el puente aéreo Barranquilla - La mina - Puerto Bolívar.

Para la fecha de febrero de 1987 se comienzan los trabajos de retrolleado en la parte norte del tajo, que consiste en ir depositando el material estéril en la zona dónde ya se sacó el carbón.

A partir de ese entonces la producción de carbón ha llegado hasta las 18 millones de toneladas anuales y se espera que con el acceso a la explotación de carbón a terceros, la producción alcance las 21 millones de toneladas anuales.

Recientemente el gobierno nacional modificó las condiciones iniciales del contrato, extendiéndole el contrato por 25 años a INTERCOR a partir del 26 de febrero de 2009 (fecha en la cual se vence el contrato anterior).

### **1.3 LOS NUEVOS SOCIOS**

El 15 de noviembre de 2000 fue formalizada la venta por parte de Carbocol de su participación en El Cerrejón Zona Norte a la Sociedad **Cerrejón Zona Norte S.A.** Dicha Sociedad trata de un consorcio integrado por dos subsidiarias de la Billiton Company, una subsidiaria de Anglo American y una subsidiaria de Glencore. Dichas empresas se caracterizan por ser compañías expertas en área de minería, son reconocidas explotadoras de platino, oro, uranio, titanio, cromo, magnesio, níquel y acero, entre otros minerales.

En cuanto a Carbón se refiere, Anglo American, Billiton, y Glencore, ocupan muy significativo lugar en los mercados internacionales, ya que son importantes productoras de este recurso energético en Sudáfrica, Australia, así como también en Colombia.

Intercor, en cuanto a la nueva negociación, seguirá llevando a cabo, como hasta el momento, la operación minera en El Cerrejón Zona Norte en razón al contrato que la empresa tiene con el estado colombiano.

De esta manera Intercor seguirá aportando su experiencia en el desarrollo de los objetivos propuestos: producir carbón de alta calidad a precios competitivos en los mercados internacionales, con una operación segura y libre de riesgos.

## **1.4 EL PROCESO**

**1.4.1 La Mina.** Está produciendo actualmente a una capacidad de 18 millones de toneladas de carbón por año, para lo cual se requiere remover aproximadamente 100 millones de metros cúbicos de material estéril. El proceso de minería a cielo abierto comienza con el retiro de la capa vegetal, que es almacenado para la futura rehabilitación de las tierras intervenidas. Retirada la capa vegetal, se lleva a cabo la perforación, voladura y remoción de material estéril hasta encontrar los mantos de carbón.



**Figura 3** Panorámica de la Mina

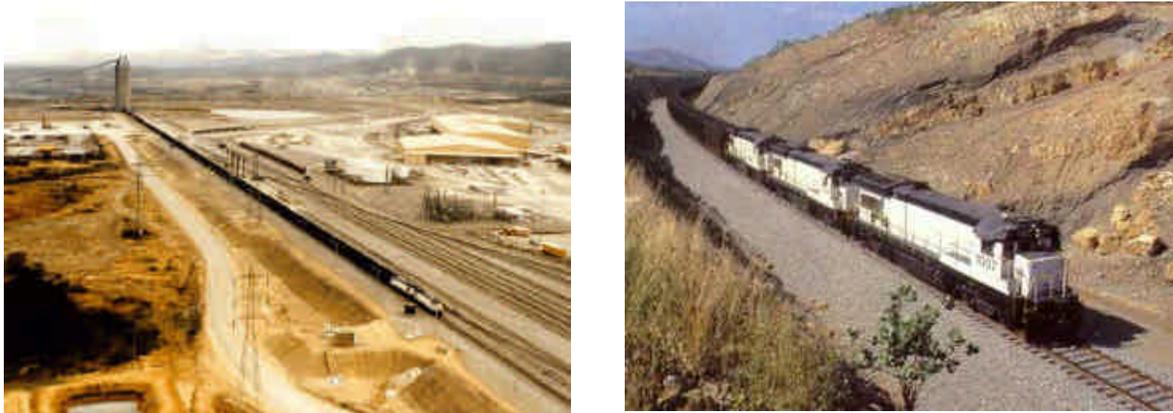
Se estima que la excavación del tajo en su parte más baja alcanzará una profundidad máxima de 265 metros, avanzando escalonadamente con bancos de 15 metros de altura, utilizando vías de 60 metros de ancho para la movilización de los equipos de minería y frentes de trabajo de 150 metros de ancho.

Los equipos escogidos para la remoción del suelo, material estéril y carbón están entre los más grandes en el mundo. Se destacan los camiones con capacidad de 240 y 170 toneladas para el transporte de estéril y carbón, palas eléctricas e hidráulicas con capacidades de 50 y 40 toneladas respectivamente, cargadores, tanqueros para el riego permanente de las vías, tractores, traíllas y motoniveladoras. Igualmente, hay una flota de equipos livianos para la supervisión de toda la operación

Las instalaciones de manejo de carbón son claves para el procesamiento del mismo y su transporte posterior. Entre éstas se incluyen la planta de trituración, las pilas de almacenamiento de carbón, la banda principal, dos silos con capacidad de 13.000 toneladas de carbón cada uno para el cargue de los vagones de ferrocarril y los dispositivos para el control del polvo. Además se cuenta con los talleres de mantenimiento (para camiones, tractores, traíllas y otros), talleres de reconstrucción, oficinas administrativas, lagunas de oxidación para el tratamiento de las aguas residuales y un sistema de telecomunicaciones que opera vía satélite entre Barranquilla, Mina y Puerto Bolívar.

Como resultado de la minería, una parte mínima de la producción de carbón se mezcla con el material estéril (roca). Para recuperar este mineral, desde 1996 se opera una planta de lavado de carbón diseñada para separarlo del estéril. La planta tiene capacidad para lavar hasta dos millones de toneladas de material por año, recuperando aproximadamente 1.4 millones de toneladas de carbón de alta calidad.

**1.4.2 El ferrocarril minero.** *El ferrocarril minero* es de trocha ancha, de 1.43 metros de distancia entre rieles y con 150 kilómetros de línea férrea conecta la mina con el puerto de embarque. El sistema operativo para el transporte del carbón consiste en dos trenes, cada uno con tres locomotoras de 3.600 caballos de potencia y 120 vagones con capacidad unitaria de 100 toneladas cada uno.



**Figura 4** El ferrocarril minero

El ciclo de operación calculado para cada tren es de diez horas, en las cuales se carga el tren, recorre el trayecto a una velocidad crucero de 72 kilómetros por hora, descarga en el puerto y regresa a la mina. Además, de los dos trenes para el transporte del carbón, opera un tren de servicio, con una locomotora y 23 vagones que transportan suministros, materiales, repuestos y combustibles entre el puerto y la mina.

**1.4.3 Puerto Bolívar.** *Puerto bolívar* es el puerto carbonífero más importante de América Latina y de los de mayor tamaño en el mundo, está localizado en la Bahía de Media Luna, a la entrada de la Bahía Portete en el municipio de Uribia, en la Guajira, y cuenta con una capacidad inicial para recibir barcos de hasta 150.000 toneladas de peso muerto.

Las instalaciones portuarias disponen del sistema para el manejo de carbón, que incluye una estación de descargue y un patio de almacenamiento con capacidad de 700 mil toneladas de carbón y el cargador lineal de barcos, localizado sobre el muelle de carbón, con una capacidad de cargue de 11.000 toneladas de carbón por hora, y que introduce el mineral directamente en las bodegas de los buques.



**Figura 5** Puerto Bolívar

El puerto carbonífero cuenta además con un muelle de suministros, el cual recibe barcos más pequeños, con maquinaria, repuestos, combustibles y otros materiales para la operación minera.

## **1.5 EL PRODUCTO**

El producto que trabaja INTERCOR es el carbón de piedra o hulla. El carbón es una roca sedimentaria transformada por la presión y la temperatura, en un ambiente saturado de agua y compuesto por residuos de plantas con cantidades menores de material mineral acumulado.

Dentro de las propiedades más importantes del carbón se encuentran:

- Tamaño de la partícula de carbón
- Contenido de humedad
- Rango del carbón
- Angulo de reposo
- Contenido de azufre

Se pueden encontrar cuatro tipos de carbón, dependiendo de sus características, estas se resumen en la Tabla 1, además según las necesidades del comprador estos pueden combinarse.

**Cuadro 1.** Propiedades del carbón explotado en el Cerrejón

Tipo de carbón	Poder calorífico [btu/lb]	Humedad [%]	Ceniza [%]	Material volátil [%]	Azufre [%]	Carbón fijo [%]	Carbón [%]	Hidrogeno [%]	Nitrógeno [%]	Oxígeno [%]	Cloro [%]
A	12,100	10.90	6.00	34.28	0.61	48.82	68.20	4.52	1.30	8.44	0.03
B	11,800	11.40	7.40	33.62	0.68	47.58	66.50	4.50	1.32	8.16	0.04
	11,600	11.60	8.40	33.32	0.75	46.68	65.10	4.50	1.31	8.30	0.04
D	11,300	11.80	10.05	32.75	0.82	45.40	63.15	4.50	1.30	8.34	0.04

El carbón de El Cerrejón Zona Norte tiene un alto potencial térmico, posee un alto componente de materia orgánica y un bajo componente en materia inorgánica y azufre, además tiene poco contenido de cenizas. Estas características aunadas a su relativo bajo costo y a las de ser un combustible limpio que genera bajos niveles de contaminación, hacen que el carbón del Cerrejón sea apetecido en los mercados mundiales.

## **2. EVOLUCIÓN DEL CONCEPTO DE MANTENIMIENTO**

La idea general del mantenimiento está cambiando. Los cambios son debido a un aumento de mecanización, mayor complejidad de la maquinaria, nuevas técnicas de mantenimiento y un nuevo enfoque de la organización y de las responsabilidades del mismo.

El mantenimiento también está reaccionando ante nuevas expectativas. Estas incluyen una mayor importancia a los aspectos de seguridad y del medio ambiente, un conocimiento creciente de la conexión existente entre el mantenimiento y la calidad del producto, y un aumento de la presión ejercida para conseguir una alta disponibilidad de la maquinaria al mismo tiempo que los costos se mantienen.

Históricamente, el mantenimiento ha evolucionado a través de tres generaciones. Sin embargo, la tercera generación puede verse solamente en la perspectiva de la primera y segunda generación.

## **2.1 PRIMERA GENERACIÓN**

La primera generación cubre el periodo hasta la II Guerra mundial. En esos días la industria no estaba muy mecanizada, por lo que períodos de paradas no importaban mucho. La maquinaria era sencilla y en la mayoría de los casos diseñada para un propósito determinado. Esto hacía que fuera fiable y fácil de reparar. Como resultado, no se necesitaban sistemas de mantenimiento complicados, y la necesidad de personal calificado era menor que ahora.

## **2.2 LA SEGUNDA GENERACIÓN**

Durante la Segunda Guerra Mundial las cosas cambiaron drásticamente. Los tiempos de la Guerra aumentaron la necesidad de productos de toda clase mientras que la mano de obra industrial bajó de forma considerable. Esto llevó a la necesidad de un aumento de mecanización. Hacia el año 1950 se habían construidos máquinas de todo tipo y cada vez más complejas. La industria había comenzado a depender de ellas.

Al aumentar esta dependencia, el tiempo improductivo de una máquina se hizo más patente. Esto llevo a la idea de que los fallos de la maquinaria se podían y se

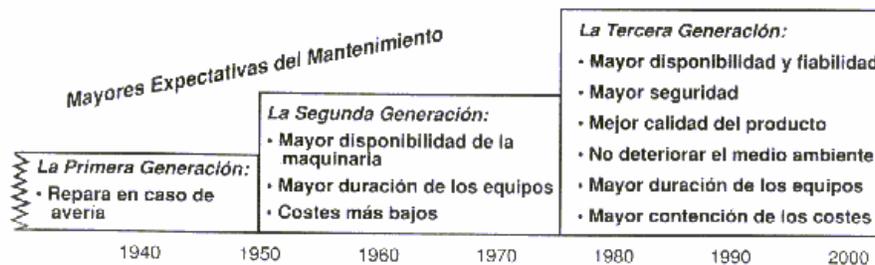
debían prevenir, lo que dio como resultado el nacimiento del concepto del ***Mantenimiento preventivo***. En el año 1960 esto se basaba primordialmente en la revisión completa del material a *intervalos fijos*.

El costo del mantenimiento comenzó también a elevarse mucho en relación con los costos de funcionamiento. Como resultado se comenzaron a implantar *sistemas de control y planificación del mantenimiento*. Estos han ayudado a poner el mantenimiento bajo control, y se han establecido ahora como parte de la práctica del mismo.

## **2.3 TERCERA GENERACIÓN**

Desde mediados de los años setenta, el proceso de cambio en la industria ha cobrado incluso velocidades más altas. Los cambios pueden clasificarse bajo los títulos de *nuevas expectativas, nueva investigación y nuevas técnicas*.

**2.3.1 Nuevas expectativas.** El crecimiento continuo de la mecanización significa que los periodos improductivos tienen un efecto más importante en la producción, costo total y servicio al cliente. Esto se hace más patente con el movimiento mundial hacia los sistemas de producción justo a tiempo, en el que los reducidos niveles de stock en curso hacen que pequeñas averías puedan causar el paro de toda una planta. Esta consideración está creando fuertes demandas en las funciones del mantenimiento. En la Figura 2.1 se muestra como han evolucionado las expectativas de las funciones del mantenimiento.



**Figura 6** Evolución de las expectativas de las funciones de mantenimiento

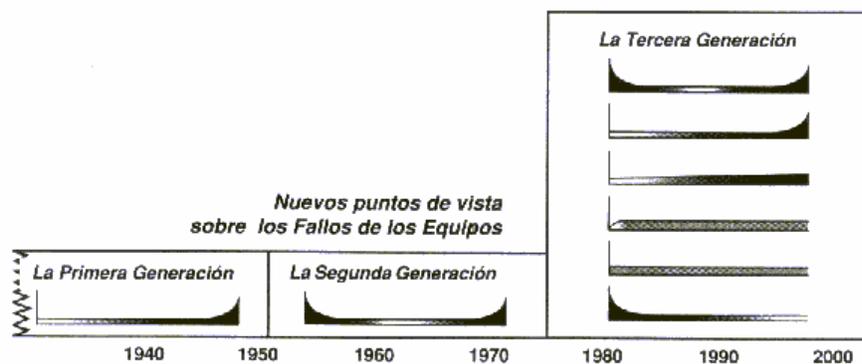
Una automatización más extensa significa que hay una relación más estrecha entre la condición de la maquinaria y la calidad del producto. Al mismo tiempo, se están elevando continuamente los estándares de calidad. Esto crea mayores demandas en la función del mantenimiento.

Otras características en el aumento de la mecanización es que cada vez son más serias las consecuencias de los fallos de una planta para la seguridad y/o el medio ambiente. Al mismo tiempo los estándares en estos dos campos también están mejorando en respuesta a un mayor interés del personal, gerente, los sindicatos, los medios de información y el gobierno.

Finalmente, el costo del mantenimiento todavía está en aumento, en términos absolutos y en proporción a los gastos totales. En algunas industrias, es ahora el segundo gasto operativo de costo más alto y en algunos casos incluso el primero.

Como resultado de esto, en solo treinta años lo que antes no suponía casi ningún gasto se ha convertido en la prioridad de control de costo más importante.

**2.3.2 Nueva investigación.** Mucho más allá de las mejores expectativas, la nueva investigación está cambiando nuestras creencias más básicas acerca del mantenimiento. En particular, se hace aparente ahora que hay una menor conexión entre el tiempo que lleva una máquina funcionando y sus posibilidades de falla.



**Figura 7** Nuevos puntos de vistas sobre los fallos

La Figura 7 muestra cómo el punto de vista acerca de los fallos en un principio era simplemente que cuando los elementos físicos envejecen, tiene más probabilidad de fallar, mientras que un conocimiento creciente acerca del desgaste

por el uso durante la Segunda Generación llevó a la creencia general en la “*curva de la bañera*”. Sin embargo, la investigación hecha por la tercera generación ha revelado que en la práctica actual no sólo ocurre un modelo de fallo sino seis diferentes.

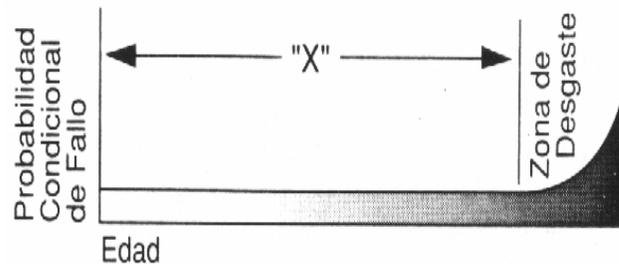
**2.3.3 Nuevas técnicas.** Ha ocurrido un aumento explosivo en los nuevos conceptos y técnicas del mantenimiento. Se cuentan ahora centenares de ellos, y surgen más cada vez. Estos incluyen:

- Técnicas de “*monitoreo de condición*”.
- Sistemas expertos.
- Técnicas de gestión de riesgos.
- Modos de fallos y análisis de los efectos.
- Fiabilidad y mantenibilidad.

El problema al que hace frente el personal del mantenimiento hoy en día no es sólo cuáles son esas nuevas técnicas, sino también el ser capaz de decidir cuáles son útiles y cuáles no lo son para sus propias compañías. Si elegimos adecuadamente, es posible que mejoremos la práctica del mantenimiento y a la vez contengamos e incluso reduzcamos el costo del mismo. Si elegimos mal, creamos más problemas a la vez que haremos más graves los existentes.

## 2.4 MODELOS DE FALLA

La mayoría de las personas consideran que la mejor forma de aumentar al máximo la disponibilidad de equipos es hacer algún tipo de mantenimiento preventivo de forma rutinaria. En el año de 1960 se desarrolla un concepto que sugiere que esta acción preventiva debe consistir en una reparación del equipo o cambio de componente a intervalos fijos.



**Figura 8** Falla por mantenimiento a intervalos fijos.

La Figura 8 muestra el concepto del fallo basado en el mantenimiento a intervalos fijos. Supone que la mayoría de los elementos funcionan con precisión para un período "X", luego se deteriora rápidamente. El pensamiento tradicional sugiere que un histórico extenso acerca de los fallos anteriores nos permitirá determinar la duración de los elementos, de forma que se podrían hacer planes para llevar a cabo una acción preventiva un poco antes de que fueran a fallar. Los fallos que tienen mayor relación con la edad se asocian a menudo con la fatiga y la corrosión. Sin embargo, los equipos en general son mucho más complicados de lo que eran hace algunos años. Esto ha llevado a cambios sorprendentes en los modelos de fallos de los equipos como se muestra en la figura 2.4 El gráfico

muestra la probabilidad condicional de fallo contra la vida útil para gran variedad de elementos mecánicos.

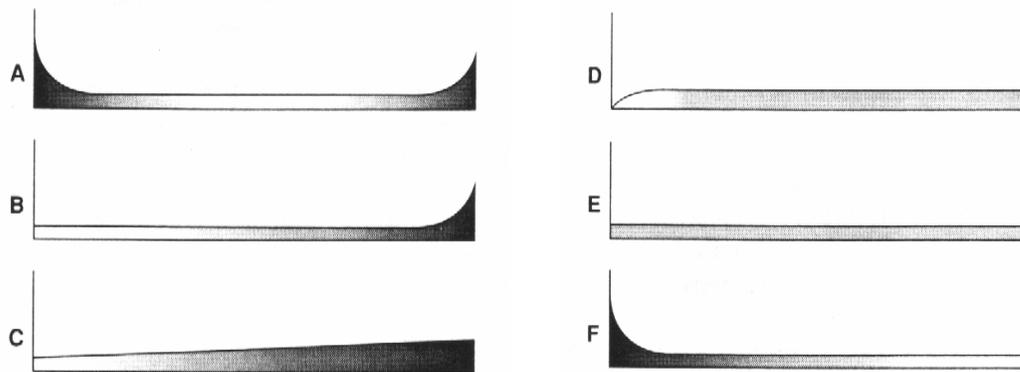


Figura 9 Probabilidad condicional de fallo contra la vida útil de algunos elementos mecánicos

El modelo A es la conocida “Curva de la bañera”. Comienza con una incidencia de fallo alta (conocida como mortalidad infantil o desgaste de rodaje) seguida por una frecuencia de fallo que aumenta gradualmente o que es constante, y luego por una zona de desgaste. El modelo B muestra la probabilidad de fallo constante o ligeramente ascendente, y termina en una zona de desgaste.

El modelo C muestra una probabilidad de fallo ligeramente ascendente, pero no hay una edad de desgaste definida que sea identificable. El modelo D muestra una probabilidad de fallo cuando las piezas son nuevas o se acaba de comprar, luego un aumento rápido a un nivel constante, mientras que el modelo E muestra una probabilidad constante de fallo en todas las edades (fallo aleatorio). Finalmente, el

modelo F comienza con una mortalidad infantil muy alta, que desciende finalmente a una probabilidad de fallo que aumenta muy despacio o que es constante.

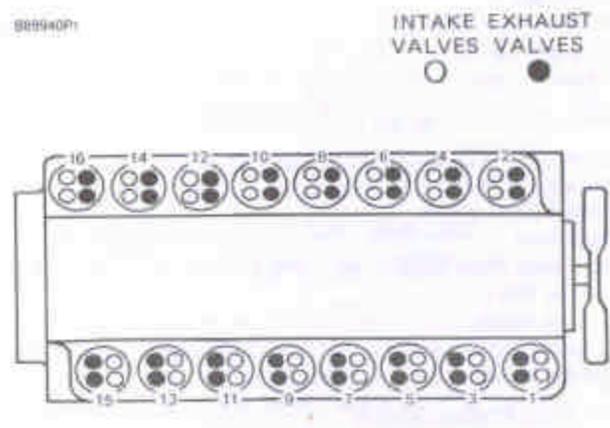
### **3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS ANALIZADOS**

### 3.1 CATERPILLAR 793 B

Motor diesel modelo 3516, cuatro tiempos, de 16 cilindros en V, inclinados a 60°.

**Cuadro 2.** Especificaciones de medidas en motor 3516 para Caterpillar serie B

Calibre	170 mm	6.7 pulg.
Carrera	190 mm	7.5 pulg.
Cilindrada	69.1 litros	4210 pulg <sup>3</sup>



**Figura 10** Motor Caterpillar 3516 - 793B

Orden de encendido: 1-2-5-6-3-4-9-10-15-16-11-12-13-14-7-8

**Cuadro 3.** Especificaciones operacionales de los motores 3516

Relación de compresión	13.5 : 1
Tipo de combustión	Inyección directa
Sentido de rotación del motor	Contrario a las manecillas del reloj

### 3.2 MOTOR CATERPILLAR 793 C

Motor diesel modelo 3516B, de 16 cilindros, cuatro tiempos, con turbocompresores en serie y posenfriamiento.

**Cuadro 4.** Clasificación nominal motor 3516B para Caterpillar serie C

a 1750 rpm	KW	HP
Potencia bruta	1715	2300
Potencia neta	1615	2166

Las clasificaciones nominales siguientes corresponden a una velocidad de 1750 rpm en pruebas realizadas en las condiciones especificadas:

**Cuadro 5.** Clasificaciones nominales para el motor 3516B

Potencia neta	KW	HP
Caterpillar	1615	2166
ISO 9249	1615	2166
SAE J1349	1599	2144

EEC 80/1269	1615	2166
-------------	------	------

### 3.2.1 DIMENSIONES

**Cuadro 6.** Dimensiones motor 3516B

Calibre	170 mm	6,7 pulg.
Carrera	190 mm	7,5 pulg.
Cilindrada	69 Litros	4211 pulg <sup>3</sup>

### 3.2.2 Condiciones de clasificación de potencia

- Basadas en condiciones normales de 25° C (77° F) y 744.7 mm Hg (29.32 pulgadas de Hg) (barómetro seco)
- Se usa combustible con densidad API de 35° y un valor térmico bajo de 42.780KJ / kg (18.390 Btu / Lb) a 30° C (86° F) [ref. combustible con densidad de 838.9 g/l (7.001 lb/galón EE.UU.)]
- La potencia neta especificada es la potencia disponible en el volante cuando el motor está equipado con ventilador, filtro de aire, silenciador y alternador.
- No hay devaluación de potencia hasta una altitud 3600 m (12.000 pies).
- Los controles electrónicos incluyen una función de evaluación automática de potencia.

### 3.2.3 Características del motor.

- Control eléctrico total.

- Inyectores unitarios de alta presión.
- Dos válvulas de admisión y dos de escape por cilindro, endurecidas con rotaválvulas y asientos de aleación de acero templado.
- Seguidores de leva de alineación automática en el árbol de levas.
- Pistones de dos piezas con corona de acero, faldas de aluminio térmicamente aisladas, con tres anillos cada uno, enfriados por un doble chorro de aceite.
- Cojinetes de cigüeñal con uniones de cobre y dorso de acero.
- Muñones de cigüeñal templados.
- Filtros de aire secos con elementos primarios y secundarios y antefiltros.
- Sistema electrónico de 24 V con alternador de 105 A y dos baterías de 12 V, 93 A / hr, de alta energía y bajo mantenimiento.

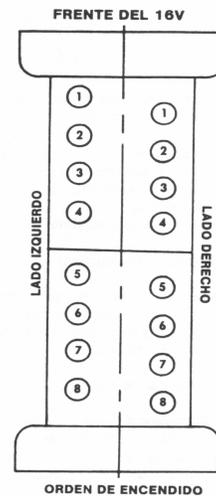
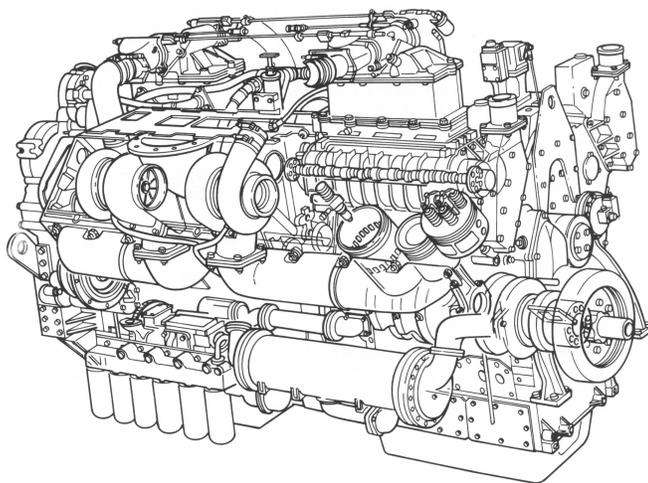
### 3.3 DETROIT DIESEL

El motor diesel de la serie 149 es un motor de dos tiempos del tipo V. Una relación baja de peso a potencia, sistemas de barrido pleno de aire, culata de cilindros individuales, pistones de flotación libre y una unidad de inyección de combustible han sido incorporados para permitir el mantenimiento libre de fallas y para proveer características deseables de funcionamiento para muchas aplicaciones.

**Cuadro 7.** Especificaciones motor Detroit Diesel

Tipo	2 tiempos
------	-----------

Número de cilindros	16V
Calibre	5.75 pulg. (146 mm)
Carrera	5.75pulg (146 mm)
Cilindrada	2389 pulg <sup>3</sup> (39.18 litros)
Relación de compresión	16 : 1



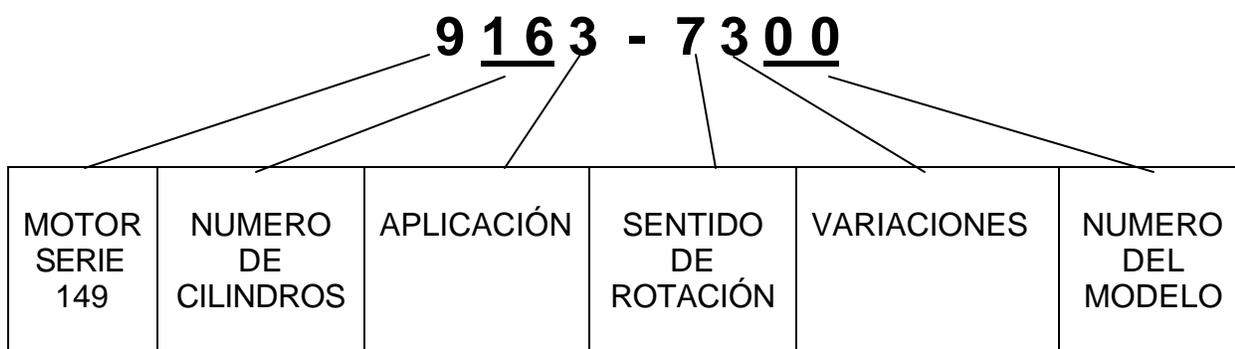
**Figura 11** Motor Detroit Diesel. A la izquierda aparece una vista de tres cuartos de una sección transversal de motor 16V -serie 149. A la derecha aparece la designación de los cilindros para el orden de encendido.

### **Orden de encendido**

Rotación a la derecha: 1L-2R-8L-6R-2L-4R-6L-5R-4L-3R-5L-7R-3L-1R-7L-8R

Rotación a la izquierda: 1L-8R-7L-1R-3L-7R-5L-3R-4L-5R-6L-4R-2L-6R-8L-2R

Los motores Detroit diesel viene identificados con un número serial el cual describe e indica las aplicaciones que tiene.



**Figura 12** Serial de los motores Detroit Diesel

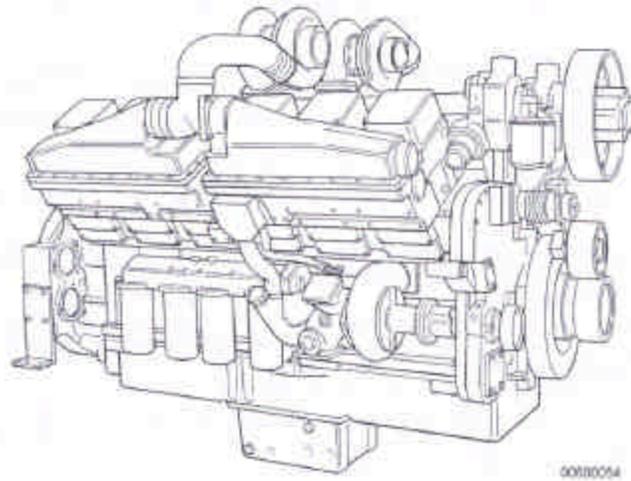
**Cuadro 8.** Especificaciones del serial de los motores Detroit Diesel

APLICACION		SENTIDO DE ROTACION		VARIACIONES	
9162-7300	MARINA	9162- <del>3</del> 300	IZQUIERDO	9162-7 <del>0</del> 00	SIN TURBO
9163-7300	INDUSTRIAL	9162-7300	DERECHO	9162-7300	TURBO O TURBO-INTERCOOLED
				9162-7400	TURBO- INTERCOOLED- BYPASS
				9163-7 <del>C</del> 00	DDEC-EQUIPPED

La designación de la rotación hacia la derecha o hacia la izquierda se hace viendo al motor desde la parte frontal.

### 3.4 ESPECIFICACIONES CUMMINS

Motor diesel de cuatro tiempos, 16 cilindros en V a 60°.



**Figura 13** Motor Cummins KTTA 50

Cuadro 9. Especificaciones motor Cummins

Potencia nominal a 2000 rpm	1800 HP (1350 KW)
Calibre	159 mm (6.25 pulg.)
Carrera	159 mm (6.25 pulg.)
Cilindrada	3067 pulg <sup>3</sup> (50.3 litros)
Relación de compresión	13.5 : 1

#### **4. CONSIDERACIONES PARA INICIAR EL DISEÑO DEL INDICE DE CONDICIÓN DE MOTORES (ICM)**

El ICM para cualquier motor debe cumplir con los siguientes criterios:

- Debe reflejar la realidad del estado del motor.
- Ser práctico de obtener.

- Mostrar la relación entre la vida después de reparado vs. estándar esperado total.
- Considerar el número de eventos presentados con parámetros fuera del estándar.
- Por definición el índice de condición de motores será la cuantificación del estado del motor contra su propio estándar. Es igual a uno cuando el motor está nuevo y será igual a cero cuando todos sus parámetros estén en el límite de operación segura.
- Proyectar la vida útil de los motores. Considerar la tendencia de su vida, más que los valores puntuales por sí solos.
- La variación entre los índices anterior y posterior a un servicio debe permitir evaluar la efectividad del mismo.

#### **4.1 PARAMETROS A CONSIDERAR EN LA EVALUACIÓN DE LOS MOTORES**

Antes de iniciar el diseño del modelo matemático, por recomendación de algunos superintendentes, analistas y supervisores de mantenimiento se recomendó revisar algunos parámetros que podrían ayudar en la evaluación de la condición de los motores, estos se lista a continuación:

##### ➤ **Aceite**

- Contenido de Metales: Fe, Pb, Cu, Cr, Al
  - Contenido de contaminantes
  - Viscosidad
  - Dilución
  - Agua
  - Consumo
  - Vida después del cambio
- **Combustible**
- Consumo
  - Restricción entrada
- **Presión**
- Aceite en la galería principal
  - Aceite en el Cáster
  - Combustible
  - Turbos
- **Temperatura**
- Refrigerante
  - Gases en turbos

- Gases en múltiples
- Combustible
  
- **Vida del motor**
  - Desde nuevo
  - Desde la última reparación
  
- **Confiabilidad**
  - Tener en cuenta síntomas, acciones correctivas, resultados de la acción
  - Sistemas afectados
  - Número de eventos
  
- **Vibraciones**
  - Niveles en diferentes ejes y puntos
  
- **Potencia del motor**

## **5. ANÁLISIS DE PARÁMETROS QUE INDICAN LA CONDICIÓN DE LOS MOTORES DIESEL**

Durante la operación del motor ocurren algunos eventos que afectan el estado del motor, conociendo cuales son estos eventos y la forma como estos afectan al motor se podría determinar el estado de este. Estos eventos se reflejan en el motor con frecuencia a través de unos síntomas, no obstante aún se necesita encontrar herramientas que permitan analizar los síntomas y llegar así a la raíz del problema.

Pero no siempre es posible desmontar el motor de un equipo para desarmarlo y determinar el estado de sus componentes, el tiempo que dura el equipo sin funcionar es costoso. Por tal motivo el objetivo principal de ICM es determinar en que estado se encuentra un motor y poder así tener una expectativa de vida para planear mejor su mantenimiento y estar preparado para desmontarlo del equipo para su reconstrucción, optimizando el proceso, ahorrando tiempo, evitando acumulación de equipos en reparación y sobretodo garantizando la producción.

Pero... ¿Dónde se deben buscar los síntomas que indican el estado del motor?, ¿Qué parámetros se deben evaluar?. La mayoría de los eventos dañinos para el

motor se evidencian a través del análisis de los siguientes parámetros: aceite, presión, vibraciones y ruido, temperatura, potencia, vida del motor.

Del aceite interesa conocer el consumo, los contenidos de metales, contaminantes, la viscosidad y la dilución. De la presión interesa saber si existe alta o baja presión en el cárter o en turbos por ejemplo. De las vibraciones y el ruido interesa conocer el origen que puede estar relacionado con un mal funcionamiento del motor. Interesa determinar la temperatura del sistema de refrigeración, de los gases en turbo, múltiples y del motor, entre otros. La vida del motor se analiza desde nuevo o desde la última reparación. Interesa conocer las caídas de potencia.

## **5.1 DILUCIÓN**

En todos los motores, durante el tiempo de compresión, se pierde a través de los segmentos pequeña cantidad de gases, cuyo combustible pasa al cárter y diluye el aceite. Durante la explosión y escape pasan productos de la combustión y al quemarse el combustible se genera agua, parte de esa agua pasará al cárter.

Por otra parte el calor favorece la oxidación del aceite, descomponiéndolo y produciendo carbolina que se añade a lo que resulta de la parte de lubricante que se quema en la cámara de combustión. Esta es una causa más de que se vaya perdiendo sus cualidades de engrase.

Ahora la contaminación excesiva por dilución de combustible es determinada por el porcentaje de combustible encontrado en el aceite usado. Esto puede verse reflejado también en una disminución de la viscosidad de más de un grado SAE y un punto de inflamación significativamente menor al compararse con los valores del aceite nuevo.

Algunos laboratorios usan el método ASTM D322 para la detección de combustible en el aceite del motor, empleando para esto un aparato condensador de reflujo para la destilación, pero este procedimiento debe realizarse con cierto cuidado.

La contaminación por refrigerante es detectada por niveles anormales del inhibidor de corrosión en el aceite usado. Esto se manifiesta en elevados niveles de sodio, potasio, boro, y silicón en la muestra de aceite. Adicionalmente, trazas de glicol del anticongelante pueden hacerse presentes en los resultados, aunque pueden no ocurrir en todos los casos porque estos componentes pueden reaccionar con ciertos aditivos del aceite, hacerse volátiles y evaporarse a las temperaturas del sumidero.

Si el refrigerante es agua sola es posible que no se detecte en las muestras de aceite contaminado porque el agua se evapora durante la temperatura normal de operación. Si el refrigerante contiene glicol, al pasar al cárter y mezclarse con el

aceite pueden causar desgaste severo del motor; depósitos excesivos de laca y barniz tienden a formarse cuando el lubricante está sometido a la contaminación con glicol. Si la cantidad de glicol presente está por encima de la máxima permitida, se debe encontrar y corregir el origen de la contaminación, asimismo se debe limpiar el sistema de lubricación del motor. La presencia de congelante en el aceite del cárter también puede empeorar la función de los aditivos del aceite, puesto que algunos son más susceptibles a la hidrólisis y reduciéndose así sus propiedades dispersantes; el caso se agrava cuando existe agua y anticongelante y el resultado final de la presencia de estos dos fluidos puede resumirse como sigue:

- La viscosidad se aumenta eventualmente por la formación de barnices insolubles.
- Las propiedades dispersantes del aceite se reducen o se pierden, dando lugar a la formación de barnices insolubles.
- El aceite se convierte de naturaleza más ácida.
- Las tendencias de atascamiento de los aros de compresión ocurrirán más a menudo quizás por la presencia excesiva de depósitos.

- El desgaste abrasivo por frotamiento, y desgaste de los aros del pistón y las camisas de los cilindros son muy aptos para ocurrir.
  
- Se acelera la corrosión de los cojinetes.
  
- Posiblemente se obturan los filtros. En algunos casos se puede ver restringido el flujo de aceite lubricante, sucediendo un sobrecalentamiento debido a la transferencia pobre de calor.

## **5.2 ACEITE LUBRICANTES**

Una superficie metálica, por esmerado que sea de pulimentación, aunque parece lisa y suave a simple vista, en realidad está formada por rugosidades y asperezas casi microscópicas. Si en estas condiciones se hacen frotar dos superficies entre sí, y más si se aprietan energéticamente, como ocurren en los cojinetes de las maquinas, las asperezas entran en contacto, se enganchan, desgarran y trituran. El rozamiento desgarrá rápidamente el material, absorbiendo tal cantidad de energía, con producción de calor, que la temperatura se eleva con rapidez y puede sobrevenir el agarrotamiento de las piezas móviles, por excesiva dilatación o por fundirse las rugosidades de las superficies metálicas.

Si no existiera la fuerza resistente pasiva del rozamiento, podría ser una realidad el movimiento continuo. En la práctica, lo que se hace es reducirla al mínimo

posible, y aunque no se puede anular su existencia, resulta perfectamente tolerable. Para ello se recurre al engrase o lubricación, que consiste en interponer entre las superficies metálicas una delgada película de aceite sobre la cual resbalan aquellas. Hay todavía rozamiento con producción de calor, pero la temperatura y la fuerza absorbida no pasan de límites tolerables.

Un aceite lubricante tiene varias funciones luego de ser aplicado en un motor, dentro de ellas encontramos:

- Lubricar
- Refrigerar
- Limpieza
- Sirve como sello
- Protección

**5.2.1 Lubricar.** Esta función es una de las más importantes que cumple el aceite lubricante, debido a que el contacto entre piezas produce desgaste debido a la fricción, el aceite proporciona una película que reduce el contacto metal-metal y por tanto la fricción y el desgaste

La película de lubricante interpuesta, que ocupa el huelgo tolerable entre las piezas, llega a ser en esfuerzos ocasionalmente delgada como mil veces más fina que el grosor de un cabello humano. Se comprende que el lubricante será de

calidad tal que resista las fuertes temperaturas del motor sin que se quemé y sin que se rompa la película con las presiones de contactos entre piezas. Los aceites minerales son más o menos espesos, usándolos según la clase de motor o el trabajo de las piezas en acción.

Una falla de lubricación puede permitir una destrucción del motor tan rápida que cualquier otra capacidad potencial del aceite no tendrá tiempo de cumplir con su función. En resumen podemos decir, que, cuando partes metálicas en movimiento entran en contacto ocurre lo siguiente:

- Se genera calor debido a la fricción.
- Soldadura localizada ocurre en algunas secciones.
- El transporte de las partículas metálicas resulta en cortes y raspaduras.

**5.2.2 Refrigerar.** El aceite también es empleado como medio de enfriamiento del pistón y las paredes de las camisas, al realizar la explosión en la cámara de combustión el aceite se encarga de refrigerar el pistón, impidiendo que a este se le produzca el fenómeno conocido como **agarrotamiento**, es de resaltar que la parte superior del pistón se encuentra por encima de los 1000° C sino existiera un medio de refrigerarlo este quedaría adherido a las paredes de las camisas debido a la dilatación que sufriría (quedaría como si estuviese soldado).



Figura 14- Válvula soldada a la cabeza del pistón

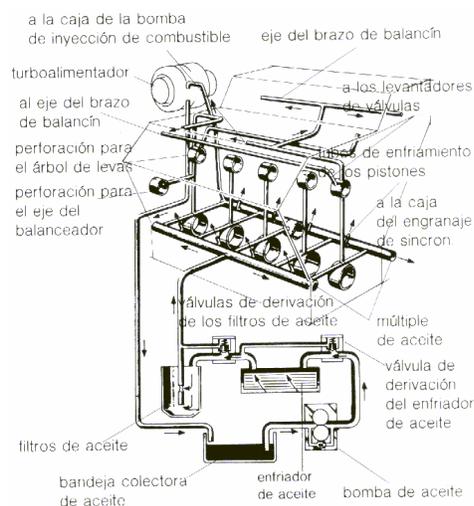
El aceite no solo es considerado como refrigerante por el calor que se lleva al circular constantemente por el motor, sino también por el calor que transmite a la circulación de agua.

**5.2.3 Limpieza.** El desgaste producido por el rozamiento genera partículas de metales los cuales son arrastrados por el aceite y al ser recirculadas pasa por los filtros del sistema de lubricación quedando retenidos al pasar por aquí.

El aceite también trabaja como un agente de limpieza al enjuagar y transportar lejos de las partes críticas todas aquellas sustancias contaminantes, tales como: acumulación de barro, barniz y oxidación en los pistones, anillos, válvulas y sellos debido a que estos pueden llevar a una rápida falla del motor sino es controlada por el aceite.

Un aceite cuya fórmula contenga los aditivos apropiados mantendrá en suspensión estos contaminantes hasta poder ser removidos por los sistemas de filtración o por el cambio de aceite.

Cabe resaltar que es necesario contar con un programa de mantenimiento para no caer en el error de no cambiar los filtros del sistema de lubricación, ya que cuando los filtros se taponan por excesos de sucios y partículas en suspensión es activadas la válvula bay-pass (o válvula de derivación), este es un mecanismo diseñado para casos en que se taponan los filtros del sistema de lubricación, al activarse el mecanismo se abre la válvula y deja pasar el aceite esto con el fin de que el sistema no quede sin aceite para lubricar, por qué esto seria fatal para cualquier motor, pero al activarse la válvula bay-pass también se corren riesgos porque al no tener sistema de filtrado todas las partículas que se encuentran en el aceite (partículas de polvo, partículas metálicas propias del desgaste) pasan directamente al cárter.



**Figura 15** Sistema de lubricación

**5.2.4 Sirve como sello.** Al realizarse la combustión se generan gases, el aceite evita que estos gases pasen al cárter, debido a que sirve como sello entre los anillos del pistón y las camisas, si los gases de la combustión pasan al cárter producirían una alta presión del mismo y mal funcionamiento del motor.

**5.2.5 Protección.** El aceite provee una barrera protectora que aleja las partículas no-metálicas para prevenir la corrosión. La corrosión, como el desgaste, resulta en la remoción de metal de las partes del motor. Dicho de otra forma, la corrosión actúa como un lento mecanismo de abrasión.

Estas sólo son las funciones básicas del aceite, pero es de gran trascendencia la selección del aceite apropiado para el trabajo. La selección del aceite lubricante apropiado se debe basar en los requisitos del motor, la aplicación en la que se va a utilizar y la cantidad de combustible disponible. Por ejemplo, los motores diesel normalmente funcionan a velocidades más bajas pero a temperaturas más altas que los motores de gasolina y esta condición lleva a la oxidación del aceite, la formación de incrustaciones y la corrosión de los metales de los cojinetes.

Para que en estas condiciones el aceite pueda ejercer sus propiedades de lubricación y protección, hay que considerar también los aditivos en el aceite, pues las características finales de rendimiento dependen del aceite base y de los aditivos que se utilizan. La cantidad o tipo de aditivos varía según las propiedades del aceite base y el ambiente en donde se utilizará el aceite.

### **5.3 PROPIEDADES DEL ACEITE LUBRICANTE**

El aceite lubricante comienza con el aceite base. El aceite base es un aceite mineral que satisface los requisitos básicos de la lubricación de un motor. Sin embargo, sino se fortifica, el aceite base se degrada y deteriora. Se utilizan distintos aditivos químicos según el tipo de base del aceite (parafínica, asfáltica, nafténica o intermedia)

$$\text{Aceite lubricante} = \text{aceite base} + \text{aditivos}$$

**5.3.1 Aditivos.** Los aditivos fortalecen o modifican ciertas características del aceite base para permitir que alcance ciertos requisitos que están mas allá de sus propiedades básicas. Los aditivos más comunes son: los detergentes, inhibidores de oxidación, dispersantes del punto de fluidez y mejoradores de viscosidad.

- Los detergentes ayudan a mantener limpio el motor mediante productos de oxidación que reaccionan químicamente para detener la formación e incrustaciones de compuestos insolubles.
- Los inhibidores de oxidación ayudan a impedir el aumento de la viscosidad, el desarrollo de ácidos orgánicos y la formación de materia carbonacea.
- Los agentes antidesgaste reducen la fricción formando una película sobre las superficies metálicas.
- Los agentes alcalinos ayudan a neutralizar los ácidos.
- Los dispersantes ayudan a impedir la formación de sedimentos diseminando los contaminantes y manteniéndolos en suspensión.
- Los mejoradores de viscosidad ayudan a impedir el Desleimiento del aceite cuando se alcanzan altas temperaturas.
- Los dispersantes del punto de fluidez mantienen al aceite a bajas temperaturas impidiendo la acumulación y aglomeración de cristales de cera.

La mayoría de los combustible diesel contiene azufre en algún grado, el contenido de azufre depende de la cantidad de azufre existente en el petróleo crudo con el que se produjo el combustible y la aptitud de las refinerías de poder disminuir o eliminar dicho contenido. Otra de las funciones del aceite lubricante es neutralizar los subproductos del azufre, es decir, los ácidos sulfurosos y sulfúricos, para así dilatar los efectos de la corrosión en el motor. Los aditivos del aceite contienen compuestos alcalinos formulados para neutralizar dichos ácidos. La medida de esta reserva de alcalinidad del aceite se conoce como **Número base total** o **TBN**. Generalmente cuanto más alto es el valor del TBN, mayor reserva de alcalinidad o capacidad de neutralización de ácidos tiene el aceite.

**5.3.2 Viscosidad.** La viscosidad es una de las propiedades más importantes que posee un aceite lubricante, esta hace referencia al espesor del aceite o a la resistencia del movimiento uniforme de su masa. Basado en esta definición podemos decir que la viscosidad esta relacionada directamente con la capacidad que tiene el aceite para lubricar y proteger las superficies que entran en contacto. El aceite debe tener la suficiente fluidez para asegurar una lubricación adecuada de todas las partes móviles, sin importar la temperatura ambiente o la del motor.

Cuanto más viscoso (o espeso) es un aceite, más grueso será la película de aceite que forme, cuanto más gruesa sea la película de aceite, mejor permanecerá en la superficie que esta lubricando. Pero, si el aceite es muy espeso puede

causar deterioro del motor en el arranque en frío, ya que frecuentemente se emplean mezclas ricas de combustible. Este exceso de combustible lava el aceite de las paredes de los cilindros, que sufrirán el frote casi en seco de los émbolos. Por eso es vital que el aceite tenga la viscosidad apropiada, tanto en la más alta como en la más baja temperatura en la que se espera que va a operar el motor.

Al aumentar la temperatura se aumenta el desleimiento del aceite. La medida de proporción del desleimiento se llama '**índice de viscosidad**' del aceite.

La viscosidad de un lubricante puede ser afectada por factores físicos (contaminación) y por factores químicos (oxidación). La contaminación con combustible no quemado tiene un efecto de disminución de la viscosidad mientras que la oxidación o en particular el paso de gases al cárter puede producir un aumento en la viscosidad.

Cuadro 10. Resultado de análisis muestra virgen de aceite lubricante 15W40. Todos los metales en PPM, estos valores cumplen con las especificaciones de requeridas por los fabricantes de motores: Cummins, Caterpillar, etc.

Viscos 100oC	Pb	Cu	Fe	Cr	Al	Si	Mo	Na	B	Mg	Ca	P	Zn
15,4	0,000	0,863	1,323	0,146	0,456	4,812	0,000	0,532	201	1272	298	1530	1609

**5.3.3 Aumento de la viscosidad.** Generalmente, cuando ocurre la oxidación del aceite lubricante, el lubricante se hará espeso y la espesura es determinada por un aumento en la viscosidad; la oxidación del aceite lubricante es la degradación del producto básico del lubricante como un resultado de la temperatura de

operación y/o batido con el aire. La espesura del aceite también ocurre por la acumulación gradual de los contaminantes sólidos en suspensión.

**5.3.4 Reducción de la viscosidad.** La reducción de la viscosidad es influenciada por la temperatura de operación (inicialmente diluyendo el aceite a elevadas temperaturas hasta que empieza la oxidación y subsecuentemente la espesura), la dilución por combustible y/o por refrigerante, y en el caso de aceites multigrados, alteración del polímero VII.

**5.3.5 Sólidos suspendidos y alteración del polímero vii de los aceites multigrados.** La presencia de cantidades excesivas o anormales de sólidos suspendidos dará como resultado un aumento de viscosidad del lubricante, siempre que no experimente una dilución por combustible simultáneamente.

Cuando se somete un lubricante a una temperatura extrema alta o fría, ocurren reacciones poco comunes formando unos depósitos carbonosos, cenizosos o gelatinosos que se derivan de la misma composición del aceite. Hay otros contaminantes que se derivan de orígenes internos del motor (por ejemplo, el sistema de combustible y proceso de combustión), que contribuyen a formar sólidos suspendidos o depósitos insolubles, tal como hollín y los productos de fuga.

Por otra parte, los resultados de la viscosidad que se obtienen de las muestras de aceite multigrado usado son complicados debido a la presencia de otra variable conocida como índice de alteración de la viscosidad del rectificador (VII) del polímero. Para poder interpretar propiamente los resultados de laboratorio reportados en las muestras de los aceites multígrados usados, se debe determinar la viscosidad del aceite sin usar de una marca específica; también es deseable saber la viscosidad de un aceite que se usó brevemente y la viscosidad de un aceite lubricante que ha sido sometido a una operación de motor bajo mucha carga y alta velocidad (rpm).

Los datos de viscosidad de la muestra del aceite usado brevemente deberían indicar la magnitud de la alteración del polímero que se manifiesta reduciendo la viscosidad de 2.0 a 29%; esto se refiere como alteración permanente del polímero. Tal como implica la palabra, molécula del polímero combinada en los aceites multígrados está literalmente cortada en secciones resultándose en una viscosidad más baja del lubricante; la viscosidad de algunos aceites multígrados 15W40 puede reducirse actualmente a un fluido 15W30 después de 70 horas de operación.

#### **5.4 ANALISIS DE ACEITE**

El análisis de aceite se hace primordialmente para determinar la condición general del lubricante. Los resultados de las pruebas no pueden predecir con exactitud las

fallas que un motor puede tener y no deben interpretarse como si tuvieran esa capacidad, sin embargo, mediante una correcta interpretación de los resultados del análisis de aceite lubricante usado se puede ayudar a controlar el mantenimiento del motor.

Observando la condición del aceite a intervalos sucesivos durante un tiempo relativamente largo puede servir para determinar un intervalo práctico de cambio de aceite y para identificar los contaminantes indeseables del aceite del cárter, como combustible, congelante, sal de las carreteras, suciedad del aire, arena o polvo; la identificación de estos contaminantes generalmente puede y debería ocasionar una acción correctiva para eliminar sus causas y de este modo extender la vida útil del motor.

Los análisis realizados sobre el aceite usado presenta resultados cuantitativos de variables tales como la viscosidad, TBN (número de base total), la cantidad de elementos de desgaste en partes por millón (ppm), la cantidad de dilución (por combustible o refrigerante). Estas cantidades, al ser comparadas contra sus valores normales y contra sus límites críticos, permiten al analista el hacer un concepto cualitativo del estado tanto del aceite como del motor que lo contiene.

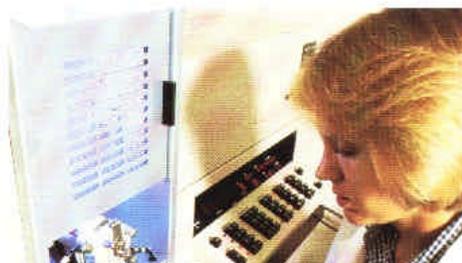
## **5.5 ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICOS**

El análisis periódico de aceite consta de una serie de pruebas destinadas a identificar y medir la contaminación y degradación de una muestra de aceite. De estas pruebas podemos destacar como básicas las siguientes:

1. Análisis de desgaste.
2. Pruebas químicas y físicas.
3. Análisis del estado del aceite.

**5.5.1 Análisis de desgaste.** El análisis de desgaste se realiza mediante un espectrofotómetro de absorción atómica. Esencialmente la prueba controla la proporción de desgaste de un componente determinado y midiendo la concentración de los elementos de desgaste que se encuentran en el aceite. Basado en datos previos de concentraciones normales, se establecen los límites máximos de elementos de desgaste.

El análisis de desgaste se limita a detectar el desgaste de los componentes y la contaminación gradual con tierra. La falla debida a la fatiga del componente a perdidas imprevistas de lubricación o a la ingestión imprevista de tierra, se produce demasiado rápido para poder predecir mediante este tipo de prueba.



**Figura 16** Análisis de una muestra de aceite mediante un espectrofotómetro de absorción atómica.

**5.5.2 Pruebas químicas y físicas.** Las pruebas químicas y físicas detectan el agua, el combustible y el anticongelante en el aceite y determinan cuando su concentración excede los límites establecidos.

La presencia y la cantidad aproximada de agua se detecta mediante la "*prueba de chisporroteo*". Se coloca una gota de aceite en una plancha caliente a una temperatura controlada entre 230 °F y 250 °F.



**Figura 17** Prueba de chisporroteo para detectar la presencia de agua en el aceite.

La aparición de burbujas es un indicio positivo de agua en el aceite (es aceptable una presencia de agua entre el 0.1% y el 0.5%).

Se determina la presencia de combustible mediante el probador de destello. Este probador está calibrado para determinar el porcentaje de combustible diluido. (Se permite un máximo de 3% de concentración de combustible).

La presencia de anticongelante se determina mediante una prueba química (cualquier indicio positivo es inaceptable.)



**Figura 18** Probador de destello para verificar la presencia de combustible en el aceite

**5.5.3 Análisis del estado del aceite.** El estado del aceite se determina mediante el análisis infrarrojo. Esta prueba determina y mide la cantidad de contaminantes

como hollín y azufre, y productos de oxidación y nitración. Aunque también puede detectar agua y anticongelante en el aceite, para poder hacer un diagnóstico preciso el análisis infrarrojo debe ir acompañado siempre por el análisis de desgaste y las pruebas químicas y físicas. También se puede utilizar el análisis infrarrojo para reducir, mantener o prolongar los intervalos de cambio de aceite según las condiciones y aplicaciones en particular.

**Figura 19** Análisis infrarrojo para determinar el estado del aceite usado

## **5.6 METALURGIA DE ALGUNAS PIEZAS DEL MOTOR**

Ante de mirar el análisis de aceite es necesario saber cuáles son las fuentes comunes de los elementos encontrados por el análisis espectrométrico. En la tabla aparecen algunos materiales comunes encontrados en el análisis de aceite y las piezas que pueden generar estas lecturas.

**Cuadro 11.** Metalurgia de algunas piezas del motor

ELEMENTO	ORIGENES DEL ELEMENTO, METALURGIA DE LA PIEZA
ALUMINIO (Al)	Sopladores (aleación de aluminio), cojinetes intermedios de árbol de levas; cojinetes del turbocargador, arandelas de empuje del cigüeñal, espaciadores, calzas, pistones de motores reciprocantes, cubiertas de accesorios, cajas de rodamiento en engranajes planetarios, cárters de algunos motores y algunas superficies de rodamientos.
BARIO (Ba)	Aditivo detergente del aceite lubricante. También se usa algunas veces como aditivo "reductores de humo" en el combustible.
BORO (Bo)	Aditivo suplementario inhibidor del congelante, aditivo de aceite lubricante.
CALCIO (Ca)	Aditivo detergente del aceite lubricante. También se usa algunas veces en las sales para carreteras, presente frecuentemente en "aguas duras".
CROMO (Cr)	Metales recubiertos, elementos de algunos motores nuevos, sellos, cajas de rodamiento, anillos de pistones y paredes de cilindros en motores reciprocantes e inhibidores de corrosión cromados.
COBRE (Cu)	Es común encontrarlo cojinetes de cigüeñal, buje móvil (eje de pie de biela), matrices de biela, bujes de seguidor de levas, bujes de brazos de balancín, bujes de biela, arandelas de empuje del árbol de levas, o presente en forma de aleaciones Ej.: bronce y latón, por lo tanto usualmente detectado en conjunción con el estaño para aleaciones de bronce y con zinc para aleaciones de

	latón. Es también detectado en enfriadores de aceites, engranajes, válvulas, bujes de turbocargadores y filtraciones de refrigerante en radiadores de cobre. También se usa recientemente en algunos aditivos para aceites con las características anti-desgaste.
HIERRO (Fe)	Es el más común de los elementos de desgaste, por ejemplo: podemos encontrar hierro gris en las camisas de cilindros, fundición férrea maleable en pistones, acero endurecido en árbol de levas, cigüeñales, engranajes. Hierro templado por inducción de los brazos de balancín, puentes de válvulas, acero aleado de los rodillos de seguidores de leva. También se evidencia en: anillos de pistón, rodamientos de bola, resortes de engranajes, alambre de seguridad, arandela de presión, contratueras, pines de seguridad y tornillos.
PLOMO (Pb)	Metal de rodamientos, sellos, soldadura, pintura, grasas, matiz aleada de biela, cojinetes de cigüeñal y algunas veces está superpuesto de metales antifricción.
MAGNESIO (Mg)	Aditivo detergente del aceite lubricante, trazas en aleación de aluminio, cojinetes, frecuentemente presente en aguas duras.
MOLIBDENO (Mo)	Aditivo del aceite modificante de fricción, revestimiento antidesgaste de algunos anillos de pistón.
SILICE (Si)	Hallado en muchas muestras de aceite debido al polvo existente en el aire, sellos y en algunos aceites se presenta como aditivo antiespumante (siliconas).

SODIO (Na)	Aditivo inhibidor suplementario del congelante, aditivo del aceite lubricante, sal de carretera.
ESTAÑO (Sn)	Metal de rodamiento o bujes, pasadores y pines de pistón, pistones, anillos, sellos de aceite, soldadura, revestimiento de metales antifricción de la biela y cojinetes del cigüeñal.
VANADIO (V)	Catalizadores, álabes de turbinas, válvulas.
ZINC (Zn)	Cojinetes, revestimientos metálicos, aditivo inhibidor de desgaste y oxidación del aceite lubricante.

## **5.7 INTERPRETACION DE LOS CONTAMINANTES EN EL ANALISIS DE ACEITE. SINTOMAS Y CAUSAS**

El análisis periódico de aceite identifica y mide varios contaminantes en el aceite que pueden deteriorar el motor. Por ejemplo, una alta concentración de cobre indica el desgaste de un buje o una arandela de tope. Una alta concentración de cromo indica anillos de pistón deteriorados, con excepción de los anillos cubiertos con plasma. El análisis periódico del aceite permite inspeccionar el estado de dichas piezas y, de ser necesario, tomar acción para evitar daños posteriores. A continuación se indican algunos contaminantes típicos, algunas causas y los efectos que producen sobre el motor.

**Contaminante:** *Hierro, silicio y cromo.*

Elevados valores de silicio, hierro y cromo indican entrada de tierra al sistema. Esta tierra entra a través del sistema de admisión de aire, tal vez por mal estado de los filtros de aire o por una grieta, y causa abrasión en las camisas de los cilindros y en los anillos del pistón. Este evento es fácilmente identificable en una muestra porque las camisas son de hierro, los anillos son de cromo y la tierra está compuesta principalmente por silicio.

**Contaminante:** *Refrigerante*

La contaminación por refrigerante se identifica por elevados niveles de sodio, potasio, boro y silicón en la muestra de aceite. El sodio, el potasio y el boro se usan como inhibidores de corrosión en el refrigerante y por eso se puede saber si existe fuga de refrigerante al haber altos valores de estos elementos en el aceite.

**Contaminante:** *Silicio.*

Altos valores de silicio con todas las otras lecturas normales significa una mala muestra, una muestra contaminada.

**Contaminante:** *Hierro.*

Altos valores de hierro con todas las otras lecturas en orden indica una pieza suelta, mal ensamblada, rota o agrietada, usualmente en el tren de válvulas o engranes. Puede representar también una falla en el compresor de aire o

desgaste en la bomba de aceite, esto último se puede comprobar verificando la presión del aceite.

**Contaminante:** *Cobre.*

Alto cobre con todas las otras lecturas normales es un síntoma de la erosión en los tubos enfriadores de aceite, desgaste en los anillos, o desgaste en las arandelas de empuje. Usualmente se incrementa antes que los otros elementos cuando hay una fuga de agua.

**Contaminante:** *Hierro y aluminio.*

El aluminio se encuentra normalmente en los cojinetes de bancada del cigüeñal, en los cojinetes de biela, en los cojinetes y arandelas de la bomba de aceite, en los levantadores de la bomba de inyección y en los pistones. Altos valores de hierro y aluminio, pero bajos de cromo y silicio, indican desgaste anormal del cigüeñal y de sus cojinetes, o puede ser desgaste en cojinetes de los engranajes de distribución.

**Contaminante:** *Hierro, aluminio, silicio, cromo y cobre.*

Alto hierro, aluminio y silicio y algún aumento en el cromo y el cobre indican que ha entrado tierra a través del aceite. Esto se puede verificar chequeando cubiertas laterales, cubiertas de válvulas y tubos de entrada de aire.

**Contaminante:** *Hierro, cobre, cromo y aluminio.*

Alto hierro, alto cobre, valores medios de cromo y aluminio y bajos valores de silicio indican un problema en el núcleo del enfriador de aceite, o en los empaques principales. Esto es causado por agua en el aceite y un motor muy caliente.

**Contaminante:** *Cromo*

Alto cromo con los otros valores normales indican una fuga de agua en el sistema de enfriamiento, causada por recalentamiento.

**Contaminante:** *Hierro, aluminio y cromo.*

Alto hierro, aluminio y cromo, bajo silicio y valores medios de cobre son síntomas de un desgaste producido por agarrotamiento del pistón debido a un arranque rápido, fuga del refrigerante, motor caliente o baja presión del aceite. Esta combinación es peligrosa pues todo el metal puede estar viniendo de un solo cilindro.

**Contaminante:** *Hierro y cobre anormal, plomo y aluminio levemente altos*

Este es un indicio de que pudo haber fallado el enfriador de aceite. En caso de haber fallado la empaquetadura de la culata se debe encontrar agua. Se recomienda comprobar la temperatura del motor o desmontar la culata si es necesario.

**Contaminante:** *Plomo anormal, cobre levemente alto*

Básicamente se debe a un desgaste de cojinetes. Es recomendable chequear la entrada de aire, los filtros, observar ruidos anormales en el motor, inspeccionar paso de gases al cárter, o chequear si se presenta excesivo consumo de aceite.

**Contaminante:** *Azufre.*

La presencia de azufre es peligrosa para todas las piezas del motor. El tipo de desgaste corrosivo atribuido a un alto contenido de azufre también puede acelerar el consumo de aceite. Además, cuanto más combustible se consume durante un intervalo entre cambios de aceite, más óxidos de sulfuro se forman y estos pueden producir ácidos. Los daños producidos por azufre en el combustible pueden hacer que los anillos se atasquen y que haya desgaste corrosivo en la superficie metálica de las guías de válvulas, de los anillos de pistón y de las camisas de cilindro.

Si todos los valores son menores que lo normal existen dos posibilidades. Por un lado la máquina ha empezado a utilizar más aceite de lo normal, o la muestra de aceite fue extraída demasiado pronto.

**Contaminante:** *Hollín.*

Por lo general el alto contenido de hollín no es una causa directa de fallas pero como partículas insoluble, el hollín puede obstruir los filtros de aceite y disipar los aditivos dispersantes. El hollín indica un filtro de aire sucio, sobrecarga del motor,

entrada excesiva de aire sucio, sobrecarga del motor, entrada excesiva de combustible o una aceleración repetida con un ajuste inadecuado del limitador de la cremallera (limitador de humo). También puede indicar combustible de baja calidad

**Contaminante:** *Productos de oxidación.*

La oxidación es una reacción química entre el aceite y el oxígeno, tal como la herrumbre es una reacción química entre el hierro y el oxígeno. La oxidación se controla mediante aditivos inhibidores. Pero siempre que el aceite este en contacto con el aire, se produce oxidación; los agentes de oxidación en los gases de combustión de los motores diesel, la temperatura y ciertos contaminantes (como el cobre y el glicol), aceleran la oxidación. Al aumentar la oxidación del aceite, se espesa el aceite, se forman ácidos orgánicos y se obstruyen los filtros conduciendo por último al atascamiento de los anillos, formación de incrustaciones y barnizado en los pistones.

**Contaminante:** *Productos de nitración.*

La nitración se produce en todos los motores pero únicamente representa un problema en los motores de gas natural. Los compuestos del nitrógeno resultantes del proceso de combustión, hace que el aceite se espese, pierda sus propiedades lubricantes y lleve a la obstrucción del filtro, extensa formación de incrustaciones y barnizado.

Los resultados que se obtienen del análisis de desgaste de metales son quizás los más controversiales de todos los análisis del aceite que se hacen en la industria.

Una variable que indudablemente afecta la guía de datos de desgaste de metales es la severidad de la aplicación del motor. El modo operacional (ciclo de trabajo) de un motor de una estación terminal a otra. Por esto, sería muy impráctico e incluso falso publicar los límites máximos de tolerancias del desgaste del metal para todos los modelos de los motores en las numerosas aplicaciones de servicio. No obstante, es aconsejable publicar el orden de magnitud de la guía de concentraciones del desgaste de metales. Estos números representan una guía general para información solamente.

En conclusión podemos decir que, el análisis del aceite lubricante indica la condición del aceite, pero no necesariamente la condición del motor.

Por esto, nunca se debe desarmar un motor basándose solamente en los resultados de análisis obtenidos de una sola muestra de aceite ; aunque si se debe investigar inmediatamente la condición del motor, usando instrumentos de diagnóstico mecánicos y/o eléctricos.

Otra variable que afecta la condición del aceite lubricante es la condición del elemento del filtro de aceite. Si el elemento está obturado con lodo o despojos de desgaste de metal, el aceite se puede desviar del filtro, eliminando por eso la acción de entrapar las virutas y las limaduras.

Aunque el análisis elemental (metal) puede ser de ayuda en la observación del desgaste del motor, se debe tener en cuenta que también los datos pueden engañar y que pueden resultar en desarmes caros del motor y sin garantía.

## **5.8 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO**

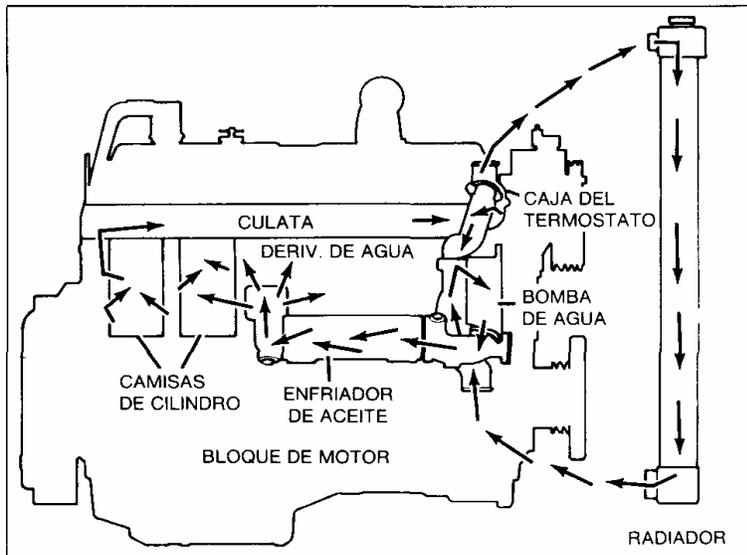
Todos los motores de combustión interna se calientan durante el funcionamiento. Este calor se debe a la combustión del combustible. El sistema de enfriamiento debe poder eliminar suficiente calor como para mantener el motor a una temperatura apropiada para la operación, pero no debe eliminar tanto calor como para que el motor funcione frío. Además, en ciertas aplicaciones, el sistema de enfriamiento debe eliminar también el calor proveniente de otras fuentes, tales como los enfriadores del retardador, del aceite del motor, del aceite hidráulico; los convertidores de par o los posenfriadores.

El sistema de enfriamiento afecta directamente al funcionamiento y a la vida útil de la máquina. Si el sistema de enfriamiento no es del tamaño apropiado, o si no recibe buena atención de mantenimiento o si la máquina no se opera de la manera debida, puede resultar en recalentamiento o en exceso de enfriamiento. Como

estos dos factores pueden acortar la vida útil del motor o causar un rendimiento deficiente, es muy importante descubrir y corregir de inmediato cualquier problema en el sistema de enfriamiento.

Hay muchos tipos de sistemas de enfriamiento, la mayoría tiene un radiador y un ventilador para eliminar el calor del motor y de los otros sistemas de la máquina, mientras que otros usan un intercambiador de calor, enfriadores de quilla o torres de enfriamiento.

La Figura 20 muestra los componentes básicos de la mayoría de los sistemas de enfriamiento. Estos componentes básicos son: refrigerante, bomba de agua, enfriador del aceite de motor, termostatos, ventilador y radiador. Durante la operación normal, la bomba de agua envía refrigerante al bloque de motor a través del enfriador del aceite de motor. El refrigerante fluye después a través del bloque de motor a la culata o culatas de cilindros en donde es enviado a las superficies calientes de las mismas. Después de fluir por las culatas, pasa a la caja del termostato.



**Figura 20** Sistema de enfriamiento típico

Cuando el motor está frío, los termostatos impiden el flujo del refrigerante hacia el radiador y el refrigerante vuelve directamente a la bomba de agua. Al ir aumentando la temperatura del refrigerante, los termostatos se empiezan a abrir y permiten que parte del refrigerante fluya al radiador.

El termostato se abre para mantener la temperatura apropiada del motor. El grado de abertura del termostato y el porcentaje del flujo del refrigerante al radiador dependen de la carga en el motor y de la temperatura del aire ambiente.

El ventilador empuja o absorbe el aire a través del radiador y alrededor de los tubos que van desde la parte superior a la inferior del radiador. (Algunas máquinas, como los montacargas y los camiones de obra, pueden tener núcleos

de radiador de flujo transversal.) Cuando el refrigerante caliente pasa por los tubos en el radiador, el flujo de aire alrededor de los tubos disminuye la temperatura del refrigerante. Después el refrigerante vuelve a la bomba de agua.

En muchas aplicaciones, hay otros componentes que transfieren el calor al refrigerante, entre los cuales figuran posenfriadores, múltiples de escape enfriados por agua, deflectores de calor y cajas de turbocargador enfriados por agua, enfriadores de aceite de la transmisión, convertidores de par y enfriadores de aceite de transmisiones marinas.

En algunos sistemas de enfriamiento, se usa un tubo de derivación para mantener presión de agua segura en la entrada de la bomba de agua. Este tubo también sirve para llenar el sistema de enfriamiento.

Algunos sistemas de enfriamiento tienen una tapa de radiador que sella la abertura en el tanque superior y limita la presión en el sistema. Otros sistemas tienen una válvula de alivio de presión separada que limita la presión en el sistema.

**5.8.1 Contenido de anticongelante.** Uno de los propósitos del anticongelante es proteger el refrigerante del motor contra el congelamiento. El agente utilizado con más frecuencia como anticongelante es el glicol etilénico. Las concentraciones

relativas de glicol etilénico y agua son sumamente importantes para determinar la cantidad de protección anticongelante de una mezcla determinada.

Además, el anticongelante eleva el punto de ebullición del agua e impide la cavitación de la bomba de agua. Por ejemplo, todos los motores Caterpillar con posefriamiento de aire a aire requieren una concentración mínima del 30% de anticongelante para evitar la cavitación de la bomba de agua.

Desde principios de los años 70, cuando se inició el uso de glicol etilénico, se agregaban inhibidores para ayudar a evitar la corrosión de los componentes del motor. Este tipo de refrigerante tuvo mucho éxito hasta fines de los años 70 y principios de los 80. Durante ese periodo, la industria automotriz comenzó a lanzar diversos programas de reducción de peso y de costos que dejaron expuestos al sistema de enfriamiento algunos componentes importantes, tales como los bloques y las culatas. Debido a este cambio del material de los componentes, la industria desarrolló un anticongelante para proteger los componentes de aluminio. Este nuevo anticongelante resultó en cantidades mucho mayores de sólidos químicos disueltos que en el caso de los anticongelantes anteriores.

Desafortunadamente, al mezclar este nuevo anticongelante con aditivos refrigerantes suplementarios, según se recomendaba para efectuar el mantenimiento, el resultado fue un exceso de concentración de inhibidores en el

sistema de enfriamiento. Cuando hay una concentración excesiva, los inhibidores pueden separarse de la solución. Este exceso de concentración puede producir los siguientes problemas en los sistemas de enfriamiento:

- Disipación de calor reducida, resultado de depósitos y precipitados de compuestos químicos y de gel de sílice.
- Fugas prematuras por los sellos de las bombas de agua, producidas por precipitados y depósitos de compuestos químicos en la superficie del sello.

A menudo, se atribuyen estos problemas a los silicatos y al gel de sílice, pero el problema principal es el exceso de concentración, no sólo de silicatos sino también de todos los aditivos químicos utilizados como inhibidores. Para corregir este problema, hay que reducir la cantidad de todos los aditivos en el sistema de enfriamiento. Para lograr un desempeño aceptable, se recomienda hacer lo siguiente:

- Si se va a usar un anticongelante disponible comercialmente, use uno con bajo contenido de silicatos que cumpla con la especificación GM6038M.

- Siga las recomendaciones del fabricante respecto al empleo de inhibidores suplementarios. Nunca use juntos inhibidores líquidos y sólidos (elementos de filtro de agua enroscables).
- Si se va a usar un aditivo refrigerante suplementario, siga la recomendación del proveedor en cuanto a la evaluación de pruebas y tratamiento. No mezcle aditivos anticorrosivos dentro de un sistema de enfriamiento; seleccione un solo aditivo y úselo exclusivamente.
- Use sólo el anticongelante suficiente para cumplir los requisitos de protección contra el congelamiento. Nunca utilice más del 60% por volumen.

## **5.9 ANALISIS DE LOS REPORTES DE ALARMAS Y ORDENES DE TRABAJO**

Las órdenes de trabajo, algunas de las cuales se presentan a continuación incluyen gran cantidad de acciones y acontecimientos, muchas de las cuales son sinónimos, eso, junto al hecho de que no es fácil su interpretación, sugiere utilizar mejor los reportes de alarmas, las cuales resumen los eventos más relevantes en la vida de un motor. Las alarmas más importantes que serán analizadas son:

- Accidente
- Alarma bajo nivel aceite
- Aceite contaminado
- Alarma nivel refrigerante

- Alta temperatura refrigerante
- Alta presión cárter
- Baja presión aceite motor
- Fuga aceite motor
- Fuga refrigerante
- Fuga combustible
- Humo excesivo
- No acelera / acelerado.
- No prende / no enciende.
- Peligro fuego alarma metano.
- Ruidos / detonaciones.
- Se apaga.
- Sin potencia.

¿Qué significan cada una de estas alarmas? La mayoría de fabricantes de motores ofrecen información sobre posibles causas de fallas en los motores. Utilizaremos esta información junto con la suministrada por trabajadores del área de reconstrucción-motores, información que es producto de la práctica y la experiencia para responder a la pregunta sobre el significado de las alarmas.

La primera alarma trata sobre un accidente, no se especifica cuál, sin embargo se supone que está relacionado con la destrucción de algún componente del motor, esta alarma implica cierta gravedad.

Si el nivel de aceite está bajo, como lo dice la segunda alarma, existe una fuga en el sistema de lubricación del motor, esto a su vez ocasiona que el aceite no lubrique componentes tales como los anillos de bancada, o los anillos de compresión del pistón, trayendo desgaste acelerado de algunos cilindros y el cigüeñal, esta alarma también es grave.

Si el aceite lubricante en un motor está contaminado significa que existen partes rotas, desgastadas o picadas, que el inyector está defectuoso o que su anillo de sello presenta fugas, que hay daño en el filtro by-pass, o que la bomba de agua no está funcionando.

Cuando un aceite está contaminado crea desgaste o deterioro del motor produciendo retardo (o freno) en las partes rotatorias así como desgaste en cojinetes, chumaceras y agujeros de cojinetes. Este evento se analiza a fondo a través de un análisis de aceite.

Un recalentamiento se puede detectar por una alta temperatura del refrigerante, por vapor de agua saliendo por el tubo de alivio de presión, por un rendimiento reducido del motor, o por aceite del motor con olor a quemado. La refrigeración en

un motor es esencial y si el motor se queda sin ella se recalienta, los fabricantes aseguran que un motor luego de recalentado no es el mismo, pues al recalentarse la dilatación anormal que se presenta en sus componentes genera desgastes en estos. Es un evento grave. Un bajo nivel de refrigerante es una indicación de que una fuga ocurrió o está ocurriendo.

Una alta temperatura del refrigerante se puede presentar por varias razones: la temperatura ambiente puede ser elevada, la calidad o grado del refrigerante puede no ser la adecuada, el nivel del refrigerante puede estar bajo, el sensor de temperatura puede no ser el adecuado, el flujo de aire por el radiador puede estar obstruido, la bomba de agua puede estar dañada, el ventilador puede estar dañado, el termostato puede estar funcionando mal, el sistema de recuperación de refrigerante puede estar mal, el flujo de refrigerante por el radiador puede estar obstruido, los pasillos de relleno pueden estar tapados, puede haber un flujo restringido del agua proveniente del motor, o puede haber un funcionamiento defectuoso del intercambiador de calor. Como ya se mencionó un funcionamiento inadecuado del sistema de enfriamiento produce recalentamiento del motor, lo que en últimas genera desgaste en el motor. Es un evento grave.

Una alarma por alta presión en el cárter puede ocurrir por una fuga de gases de la combustión por las paredes de los cilindros (o cylinder blow-by), por una restricción en el respirador, o por el aire proveniente de los sopladores o de la caja

de aire. Si se presenta por un cylinder blow- by la causa puede ser fuga por el empaque de cabeza del cilindro, daño en el pistón, o anillos del pistón rotos o desgastados. Si ocurre por restricción puede existir una obstrucción o daño del respirador. Si el síntoma se presenta por el aire proveniente de sopladores o de la caja de aire puede haber una presión de retorno del escape excesiva, o daño en el empaque del blower. Este es un evento muy grave.

Si la presión de aceite disminuye puede haber: alta temperatura ambiental, fugas internas de aceite, mal funcionamiento del filtro by-pass, falla en la válvula de alivio de presión, contaminación del aceite lubricante, alta temperatura del aceite lubricante, una inadecuada calidad o grado de aceite lubricante, mal funcionamiento del medidor de presión, fugas externas de aceite, restricción de los tubos de toma de aceite, blow- by, partes rotas o desgastadas, orificios para paso de aceite obstruidos, o un cárter demasiado lleno. Este evento es grave porque la lubricación es esencial para evitar desgaste en el motor.

Las fugas de aceite y refrigerante son eventos medianamente graves. Si bien es cierto que una fuga grande de cualquiera de los dos ocasiona graves daños al motor, cuando se da este tipo de alarma no se especifica la gravedad de la fuga. Por ello no se le da tanta importancia sino se compara con datos sobre consumo de aceite o recalentamiento del motor.

El humo es generalmente el resultado de una combustión incompleta. El humo se puede presentar por exceso de combustible o mala selección de este, por operación completa de la válvula de estrangulamiento a bajas velocidades del motor, o por sistemas de admisión y escape inadecuado.

Cuando se presenta una alarma por humo excesivo se debe chequear primero que tipo de humo es. Existen cuatro (4) tipos de humo : negro, gris, blanco y azul. El humo negro o gris se presentan cuando el combustible no quema completamente, esto está relacionado con insuficiente aire para la combustión, exceso o distribución irregular de combustible, o por un grado de combustible inadecuado. El humo blanco es causado por el fallo de encendido, que puede deberse a una falla en los inyectores, baja compresión, o bajo número de cetano en el combustible. Si el motor echa humo azulado por el escape es porque sube aceite a la cámara de combustión a causa del desgaste de cilindros y de segmentos. Una vez que este desgaste se inicia, las fuertes presiones y golpazos del funcionamiento lo aumentan rápidamente y enseguida aparecen los humos negros del combustible. Los residuos de la combustión incompleta son muy complejos porque la entrada del combustible a alta presión en un ambiente de elevada temperatura produce un **cracking** o trituración que rompe y desdobla las moléculas más pesadas de los hidrocarburos componentes del gasoil dando origen a la formación de alquitranes que parecen ser cancerígenos.

Estos eventos son importantes para la potencia del motor, y en algunas oportunidades evidencian el mal funcionamiento del mismo, por tanto se considera como un evento de nivel intermedio de gravedad.

Los problemas de pobre aceleración tienen que ver con blow-by , fugas o mal ajuste de las válvulas, partes rotas, desgastadas o picadas, seguidores de las levas del árbol de levas desgastadas, o con problemas del inyector entre otros. También está relacionado con filtros y respiraderos sucios o defectuosos, sobrecarga del motor, cárter demasiado lleno, combustible inadecuado, aire en el combustible, fugas en el sello del inyector, toma restringida de aire, sopladores no operativos, fugas a través de las cubiertas de la caja de aire, entre otros. Este evento es importante, pero su impacto sobre el desgaste del motor no ha sido determinado.

Si un motor no enciende la causa puede ser: sopladores no operativos, baja temperatura ambiental, fugas o desajustes en válvulas, partes rotas o desgastadas, mal ajuste del inyector, mala calidad del combustible, o bomba de combustible no operativa, entre otros. Al igual que la alarma anterior, este evento es importante pero no se ha determinado su influencia sobre el desgaste del motor.

Los ruidos y las detonaciones pueden ocurrir por: fugas o mal ajuste de válvulas, partes del motor rotas, desgastadas o agujereadas, tolerancia inadecuada de los cojinetes, cojinetes principales dañados, backlash incorrecto en el tren de engranes, cojinetes de empuje rotos o doblados, bajo nivel de aceite, largos períodos de desocupe, falla en el inyector. Los ruidos son señal de que esta sucediendo algún evento no deseado en un motor diesel por tanto es necesario considerarlo como importante.

La pérdida de potencia puede ocurrir por: ajustes impropios en el motor, insuficiente combustible, o insuficiente aire.

## **6. FORMULACION DEL INDICE DE CONDICIÓN DE MOTORES (ICM)**

El índice de condición de motores es una herramienta para establecer en qué condición se encuentra un motor respecto a su estándar (es decir cuando esta nuevo), permitiéndonos conocer a través de un modelo matemático, el estado

actual del motor y su vida remanente, sirviendo como una herramienta para la toma de decisiones acerca del estado del motor.

Para la evaluación de la condición de un motor se monitorean las siguientes variables:

- Desgaste por análisis de aceite.
- Consumo de combustible
- Consumo de aceite.
- Reparaciones.
- Análisis de ordenes de trabajo.

Todos los eventos ocurridos a un equipo se reporta y este reporte es guardado en la base de datos, permitiendo posteriormente hacer un análisis de lo hechos ocurridos, apoyado en esto se desarrollo un método que consulta todos los eventos ocurrido en un motor desde el momento de su instalación hasta la fecha en la que se quiere evaluar. Inicialmente ocurrieron muchos inconvenientes en este desarrollo, hubo la necesidad de replantear completamente el primer modelo desarrollado.

Alguna consideraciones inicialmente planteadas hubo la necesidad de modificarlas parcialmente y en algunos casos reemplazarlas completamente, algunas de estas fueron: el índice se calificaba de cero a uno, cero cuando estaba nuevo y uno

cuando estaba en el limite de su funcionamiento, pero con este concepto al calificar un motor y encontrar un ICM de 0.2 no era claro la manera de interpretarlo, si como "le queda 20% de vida" o como "ha gastado un 20% de su vida" por esto se decide cambiar este rango de calificación el cual se evaluará de uno a cero, uno cuando esta nuevo y al 100% de sus capacidad y cero cuando el motor llega al final de su vida útil. Se entiende entonces que un motor con un  $ICM = 0.35$ , indica que el motor le resta cerca del 35% de su vida útil o dicho de otra manera hasta este momento ha gastado cerca de un 65% de su vida.

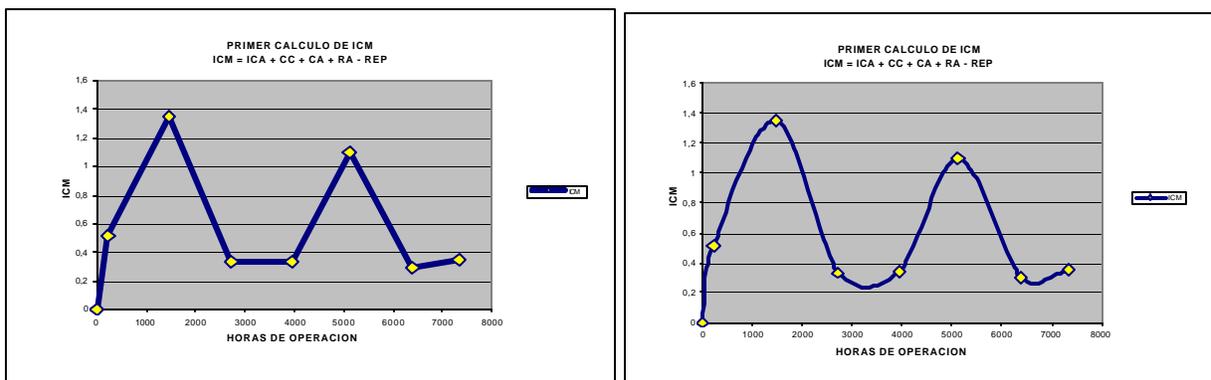


Figura 21 Graficas generadas por el primer calculo de ICM

La Figura 21 Muestra las primeras gráficas que se obtuvieron con la ecuación de ICM, se puede ver que estas gráficas no son muy disidentes, además son de poca interpretación para el evaluador, esto motivo a una reestructuración del índice

Este cambio permitió manejar otros conceptos asociados al índice de condición de motores tales como vida del motor, expectativa de vida, rango de precaución,

rango de operación segura, los cuales son de gran importancia en el manejo del índice de condición de motores.

Con este cambio se introducen otros criterios para la calificación los cuales conllevan a una modificación del ICM porque para calificar en el rango antes mencionado es necesario que la ecuación rija para cuando el tiempo es igual a cero es decir el instante en que se instala el motor, en ese momento podríamos pensar que el motor es ideal porque al no ha entrado en funcionamiento, no debe tener problemas de alto consumo de aceite o de combustible, por tanto no debe tener problemas de desgaste porque no ha trabajado, en fin si un motor con estas condiciones no tiene parámetros a evaluar, ¿cómo va a tener una calificación?, esto produjo un vuelco total en la ecuación que se maneja en el índice. Inicialmente se califica de la siguiente manera.

$$ICM = (ICA * y) + (CC * z) + (CA * w) + (RA * v) - (\# REP * x)$$

De donde *ICM* representa el índice de condición de motor, es decir la calificación respecto a su estándar, *Rep* representa el número de reparaciones que se realizaron durante el periodo en evaluación, *ICA* es el índice de condición de aceite, la calificación de este factor está basado en los análisis de aceite que se realizan en los laboratorios de la compañía y disponibles en la red para su

consulta, *CC* y *CA* son el consumo de combustible y el consumo de aceite respectivamente, dos factores determinantes en la condición de un motor, *RA* son los reportes de alarmas y ordenes de trabajo del equipo.

Para la evaluación del ICM se toman periodos que coinciden con los PM's tipo D y E o en su defecto cerca de las 1000 o 1200 horas de operación del equipo dependiendo del motor. En la anterior expresión *x*, *y*, *z*, *w* y *v* son valores relativos de importancia que tiene cada una de estas variables dentro del modelo matemático.

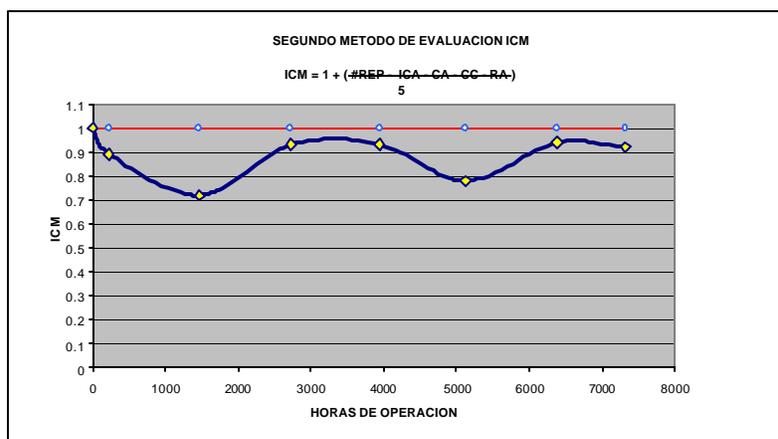
Esta primera ecuación no se rige para cuando el motor es nuevo por tanto hay que modificarla para que incluya todas las posibles opciones, esto conlleva a una segunda ecuación:

$$ICM = 1 + (REP * x) - (ICA * y) - (CC * z) - (CA * w) - (RA * v)$$

Como ICM es una ecuación en función del tiempo ( $ICM = f(t)$ ) debe tener validez para evaluar el motor cuando  $t = 0$ , siendo entonces,  $CC = CA = ICA = Rep = RA = 0$ , e  $ICM = 1$

Al realizar la evaluación de motores con esta ecuación las mejoras son mínimas y a pesar que sirve en un primer momento para revolucionar el concepto del índice, los alcances continuaron siendo pobres, las gráficas lo evidencian porque siempre permanecen elevadas siendo su aproximación a cero bastante difícil.

Después de algunas observaciones se concluye que en este calculo había un error de concepto, esto es, que al calificar con esta ecuación se está condicionando cada evaluación a que el motor se deteriora pero en el momento de ser evaluado vuelve a sus condiciones de estándar, eso es producto de la introducción del uno (1) como factor calificativo del motor cuando esta nuevo.



**Figura 22** Segundo cálculo de ICM. La función ICM nunca llega a cero

Para superar esta situación se introduce un concepto nuevo dentro de la calificación del índice de condición de motores el cual se ha denominado el Índice de Condición de Motor Anterior (o ICMA como se hará referencia). Además se

decidió darle igual importancia a todas las variable que se evalúan dentro de ICM siendo entonces el peso relativo de cada variable equivalente a un 20% del total.

Por tanto:

$$\frac{20\%}{100\%} = \frac{1}{5}$$

entonces:

$$ICM = ICMA + REP * \frac{1}{5} - ICA * \frac{1}{5} - CC * \frac{1}{5} - CA * \frac{1}{5} - RA * \frac{1}{5}$$

$$ICM = ICMA + \frac{(REP - ICA - CC - CA - RA)}{5}$$

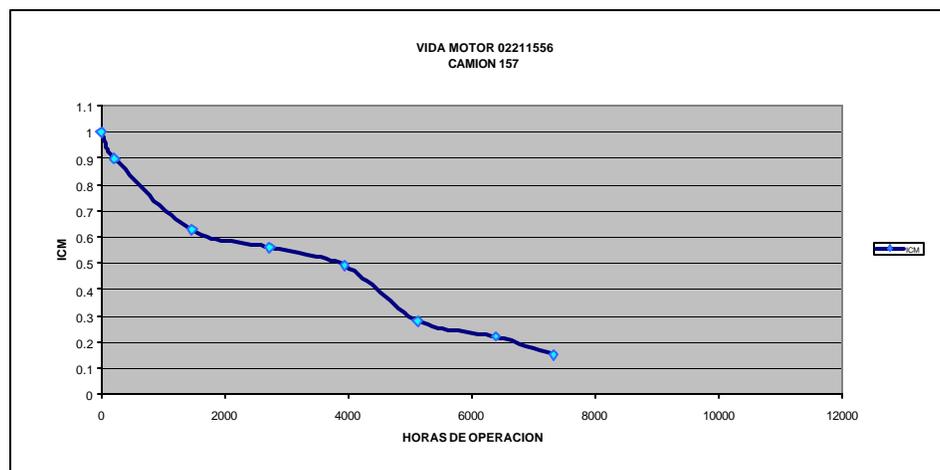
Ahora el ICMA es un factor que se introduce bajo el siguiente razonamiento:

Para una primera calificación ICMA tomará el valor de 1, luego cada vez que se evalúa ICM se le asignara esta calificación a ICMA esto se fundamenta en que un motor al ser evaluado obtiene una calificación, pero en la siguiente evaluación no podemos suponer que el motor esta igual que su estándar (es decir cuando estaba nuevo) porque ha sufrido desgaste natural por las condiciones en las cuales trabaja, desgaste forzado, alarmas, fugas, etc. y todos estos factores han disminuido su estimativo de vida.

Por ejemplo si un motor en su primera calificación tiene un ICMA de 1 y obtienen un ICM de 0.87, en su próxima calificación tendrá un ICMA de 0.87 esto nos indica

que el motor ya no está en su 100% de capacidad, que hay factores que han disminuido su estimativo de vida, ahora como se observar en la ecuación el único factor que puede aumentar o contrarresta los efectos que disminuyen la capacidad de vida del motor son la reparaciones, pero, hay que tener cuidado con ellas, estas solo se deben calificar cuando estén encaminadas a la mejora del motor

Este nuevo elemento dentro de la calificación de ICM permite obtener gráficas que reflejan el comportamiento de cada motor al ser evaluado.



**Figura 23** Gráficas que actualmente se obtienen con ICM

Luego de obtener una ecuación como esta que es capaz de mostrar el comportamiento de un motor a través del tiempo, se introducen técnicas de extrapolación matemática que permiten encontrar la diferentes curvas que explican el comportamiento de las calificaciones. Las soluciones de estas curvas

para cuando  $ICM = 0$  permite realizar proyecciones de vida útil remanente, con errores muy bajos, permitiendo a los planeadores y analistas de mantenimiento estar preparados para un eventual cambio de motor, reduciendo costos al evitar que se rompa el bloque (dañando el cigüeñal y otras parte importantes y costosas del motor), empleando menos horas/hombre en intervenciones, disminuyendo costos por horas Down del camión, evitando remolques innecesarios, entre otros.

Hay que resaltar que esta ecuación se empleó inicialmente para evaluar los equipos al finalizar periodos fijos de tiempo que coincidieran con las labores de mantenimiento preventivo (PM) de 1000 o 1200 horas dependiendo del tipo de motor y flota a la cual pertenece, pero la continua investigación y la necesidad de poder evaluar los equipos en cualquier instante llevo a diseñar un nuevo parámetro, este nuevo parámetro permite la calificación en cualquier instante, aunque la probabilidad de fallo fue desarrollada inicialmente para periodos fijos de tiempo.

$$ICM = ICMA + \frac{(REP - ICA - CC - CA - RA)}{5} \times \left( \frac{Horas\ operación}{Parámetro\ horario} \right)$$

Por ejemplo si un motor presenta una alarma por ingestión de tierra a través del sistema de admisión de aire, 600 horas después de su última evaluación con ICM,

sería necesario esperar llegar a las próximas 1200 horas para volver a evaluarlo, ahora con este nuevo factor no es necesario esperar todo este tiempo, se puede entonces, evaluar el motor con este corto periodo y el modelo es capaz de realizar un buen diagnostico.

## **6.1 FECHAS DE CORTE**

Para empezar se deben encontrar lo que se llamará de ahora en adelante las **fechas de corte de datos**, estas son las correspondientes a los PM's (Mantenimientos Preventivos) tipo D, o tipo E que son los que se realizan en intervalos de 1000 y 1200 Hrs. El tiempo transcurrido entre dos fechas de corte se llamará un "**periodo calificado**".

Estas fechas sirven para "romper" la historia del motor en intervalos fijos de tiempo (1000 o 1200 horas), a cada periodo calificado le es asignada una calificación según su comportamiento en el intervalo.

### **Ejemplo:**

Se analiza la historia de camión 0220157, que tiene instalado el motor Cummins 02211556, para encontrar las llamada fecha de corte, las cuales se emplearán para dividir la vida del motor en periodos fijos de tiempo de 1200 horas y poder así realizar la evaluación del comportamiento del motor

## Cuadro 12 Orden de trabajo

FECHA TOT	AL	OT DES	FEC
02/15/99	23.48	147381	CAMBIO MODULO DE POTENCIA EUCLID G.E.
02/16/99	2.85	147381	CAMBIO MODULO DE POTENCIA EUCLID G.E.
02/18/99	.	RD012959	!Acoplar modulo potencia EUC 2211539-
02/18/99	.	RD012963	crobar modulo potencia EUCLID 02211539
02/18/99	.	RD012996	DESACOP.MODULO EUC. #02211509-1 hr:144
03/04/99	.	RD013038	RETRABAJO CAMBIO COMPRESOR 2211556 0.0
03/06/99	1.02	99EUFU50	DIAGNOSTICO FUGA DE REFRIGERANTE
03/13/99	.	183493	#8A SEIS DE 1200 HRS(PMD) EUCLID 1 Roc
04/06/99	0.60	99EUSP00	DIAGNOSTICO DE BAJA POTENCIA
04/16/99	0.20	99EUAL71	ALARMA BAJO NIVEL ACEITE MOTOR
04/16/99	2.04	99EUNA00	DIAGNOSTICO NO ACELERA
04/16/99	.	KE020823	#8A SEIS DE 600 HRS(PMC) EUCLID 1
05/02/99	.	KE020921	#1P SEIS DE 300 HRS(PMB) EUCLID 1
05/18/99	0.47	99EUFU50	DIAGNOSTICO FUGA DE REFRIGERANTE
05/20/99	.	KE021146	SEIS DE 2400 HRS(PME) EUCLID 1 Rockwel
06/03/99	0.40	99EUAL71	ALARMA BAJO NIVEL ACEITE MOTOR
06/06/99	.	KE021286	SEIS DE 300 HRS(PMB) EUCLID 1
06/21/99	.	KE021458	SEIS DE 600 HRS(PMC) EUCLID 1
06/25/99	0.33	99EUAP00	DIAGNOSTICO SE APAGA
06/28/99	1.59	99EUAL71	ALARMA BAJO NIVEL ACEITE MOTOR
06/29/99	2.00	99EUSP00	DIAGNOSTICO DE BAJA POTENCIA
07/18/99	3.48	194234	CAMBIO EMPAQUE TUBO BAY-PASS. RFGTE.
07/26/99	.	KE021740	SEIS DE 1200 HRS(PMD) EUCLID 1 Rockwel
07/27/99	0.23	194770	DIAGNOSTICO BAJA POTENCIA EUCLID 1
08/12/99	.	KE021969	SEIS DE 300 HRS(PMB) EUCLID 1
08/13/99	.	196321	TAREAS IMPREVISTAS DEL SEIS 300 HORAS.
09/02/99	.	KE022102	SEIS DE 600 HRS(PMC) EUCLID 1
10/03/99	1.36	99EUSP00	DIAGNOSTICO DE BAJA POTENCIA
10/09/99	.	KE022511	SEIS DE 2400 HRS(PME) EUCLID 1 Rockwel
10/12/99	3.53	99EUAL71	ALARMA BAJO NIVEL ACEITE MOTOR
10/28/99	.	KE022820	SEIS DE 300 HRS(PMB) EUCLID 1
10/30/99	1.20	201598	DIAGNOSTICO POR ZANCONEO.
11/03/99	1.45	99EUFU50	DIAGNOSTICO FUGA DE REFRIGERANTE
11/05/99	0.02	99EUFC40	DIAGNOSTICO SIN COMBUSTIBLE
12/06/99	.	KE023165	SEIS DE 300 HRS(PMB) EUCLID 1
12/30/99	.	KC004331	FUGA HIDRAULICA RDA MOTORIZADA DERECHA
01/03/00	.	KE023451	SEIS DE 1200 HRS(PMD) EUCLID 1 Rockwel
01/19/00	0.01	206990	DIAGNOSTICAR BAJA POTENCIA EUCLID1
01/19/00	1.78	00EUSP00	DIAGNOSTICO DE BAJA POTENCIA
01/21/00	21.33	206990	DIAGNOSTICAR BAJA POTENCIA EUCLID1
01/22/00	0.55	206990	DIAGNOSTICAR BAJA POTENCIA EUCLID1
01/22/00	0.11	00EUAL71	ALARMA BAJO NIVEL ACEITE MOTOR
01/22/00	.	KE023749	SEIS DE 300 HRS(PMB) EUCLID 1
03/14/00	0.45	00EUAL71	ALARMA BAJO NIVEL ACEITE MOTOR
03/17/00	.	KE024834	SEIS DE 2400 HRS(PME) EUCLID 1 Rockwel
03/19/00	0.66	00WCAL71	BAJO NIVEL ACEITE MOTOR.

04/04/00	.	KE025073	SEIS DE 300 HRS(PMB) EUCLID 1
04/05/00	.	212067	TAREAS IMPREVISTAS DEL SEIS 300 horas.
04/05/00	0.76	212206	TAREAS IMPREVISTAS DEL SEIS CARBONEROS
05/16/00	.	KE025854	SEIS DE 300 HRS(PMB) EUCCAR
05/16/00	.	MM001907	Corregir fuga de aceite espejo drive
05/18/00	0.20	00WCAC00	DIAGNOSTICO MOTOR ACELERADO

Nótese que para el análisis de este equipo se tendrán 6 periodos de calificación, las fechas de ocurrencia de los pm's permiten dividir en periodos fijos de tiempo la vida del motor, para este caso el parámetro horario es de 1200 horas de operación, además de estos periodos tendremos una fracción aproximada de 400 horas, la cual es posible evaluar con el modelo existente.

## 6.2 REPARACIONES

Dentro de las labores de mantenimiento de flotas se hace necesario muchas veces el remplazar piezas importantes dentro del motor. Principalmente debido a que estas se ven desgastadas por el normal funcionamiento del mismo.

Para evaluar este parámetro fue necesario establecer un listado de elementos o piezas que se consideran importante o necesarias para el funcionamiento adecuado del motor, (en el anexo A se muestra el listado de piezas que se consideraran en la evaluación del ICM), basado en ese listado se establecen grupos donde se considera la importancia que tienen en la vida del motor, organizándolos en dos grupos, el primero se llama: "Repuestos de alto nivel" y el segundo se denomina "Repuestos de nivel medio", para cada uno de estos grupos

se ha establecido valores de calificación dentro del modelo matemático y la incidencia que tendrán dentro de la vida del motor.

Ante de evaluar esta variable se deben realizar grupos de datos que cumplan con el siguiente parámetro

$$\textit{fecha PM}_{anterior} < \textit{fecha despacho repuesto} \leq \textit{fecha PM}_{actual}$$

donde los parámetros fecha PM anterior y fecha PM actual se obtienen de las fechas de corte (ver Fechas de corte). La calificación de las reparaciones viene dada de la siguiente manera:

- Si se encuentran repuestos considerados de nivel medio dentro de la lista, entonces la calificación por este ítem será igual a: **RM**. Si no se encuentran repuestos medios, la calificación por este concepto será 0.
- Al encontrar repuestos considerados como graves, tenemos que la calificación será: **RG**. De nuevo, si no se encuentran repuestos graves, la calificación por este concepto será 0.

La suma de estas dos calificaciones (RM + RG) será el parámetro **Rep**.

$$\text{Rep} = \text{RM} + \text{RG}$$

Donde RM y RG dependen del tipo de motor, cuyos valores aparecen listados en el anexo A. En el siguiente ejemplo se ilustra la forma como se califica esta variable.

**Ejemplo :**

El camión 022011 tiene las siguientes fechas de corte: 1998/08/23 y 1998/11/25. Entonces, los repuestos que cumplen con los requisitos de fecha son los que están en sombra:

Cuadro 13. Análisis de orden de trabajo camión 0220011

FECHA	DESPA	SCO	DESC1	EQU	WO	grave	media	Calif
19980820	2	62448	JUEGO DE CASQUETES DE BANCADA ANCHOS	220011	RD011840			
19980902	16	62588	JUEGO DE 2 CASQUETES DE BIELA STANDARD	220011	RD011840	1	ok	0.16
19980918	1	1291129	BOMBA DE TRANSFERENCIA DE COMBUSTIBLE	220011	168117	ok	1	
19990330	1	1475169	TURBOCARGADOR COMPLETO PARA MOTOR	220011	185383			

Como los repuestos graves (RG) valen 0.1 y los repuestos medios (RM) valen 0.06, tendremos que la calificación por cuenta de las reparaciones será de **0.16**.

**6.3 INDICE DE CONDICIÓN DE ACEITES**

El índice de condición de aceites es una calificación basada en los análisis de aceites realizados en el laboratorio que para tal fin posee la empresa. Este parámetro otorga una calificación según la cantidad de contaminantes que posea el aceite y que podrían ser indicadores de problemas graves dentro del motor.

Siendo este una de las pruebas más veraces acerca de la condición del motor, el análisis de él se divide en tres partes diferentes y complementarias:

1. Índice de condición presente (ICP)
2. Índice de condición histórica (ICH)
3. Índice de condición combinatoria (ICC)

**6.3.1 Índice de condición presente (ICP).** El índice de condición presente es la calificación del estado del aceite del motor en el instante que se cumplen las 1200 horas (o 1000 dependiendo del tipo de motor) o en su defecto el equipo llega a PM (tipo D o E).

El índice de condición presente da información acerca del estado del motor en el último periodo calificado, es decir se analiza la última muestra disponible del motor en un grupo de datos, la manera de calcularlo viene dado por la siguiente fórmula:

$$ICP = \sum_{i=1}^{i=13} \frac{X_i \text{ actual}}{X_i \text{ máximo}}$$

i= Elemento contaminante

**Ejemplo:**

Un camión vino a PM el 16 de noviembre de 1999 después que se realiza el cambio de aceite y el equipo sale de los hangares a realizar sus recorridos empieza a contar el periodo de prueba, la primera muestra de aceite sé

monitoreo el día 27 de noviembre, el camión regreso a otro PM (mantenimiento preventivo) de 1200 horas el 15 de febrero del 2000 esta fecha para nuestro análisis representara el presente y todas las lecturas anteriores harán parte de la historia del motor para este periodo.

**Cuadro14.** Resultados de análisis de aceite. En gris se resalta la muestra tomada en el PM.

FECHA	AL	B	C	CR	CU	DI	FE	H2	MO	NA	PB	SI	VI
11/27/99	0	0.76	0,29	1	2	0	17	0	0	3	2	2	15,12
12/13/99	2	0.46	0,36	2	3	0	34	0,13	0	3	23	2	15,02
12/17/99	2	0.38	0,56	3	4	0	40	0	0	3	28	2	15,02
12/26/99	0,74	1.2	0,13	1,374	1,95	0	21	0	0,1	2,74	2,34	2,59	14,79
01/14/00	2,56	0.50	0,36	2,944	2,81	0	44	0	0,11	2,53	24,4	3,17	14,84
01/18/00	8,36	1.72	0,11	1,379	1,41	0	23	0	0,1	3,98	4,48	28,46	14,54
01/24/00	1,17	1.66	0,1	1,266	1,4	0	10	0	0,1	1,54	2,01	1,47	14,97
01/29/00	1,33	1.69	0,18	1,557	1,55	0	7	0	0,1	3,63	1,75	2,12	14,83
02/15/00	2,55	0.84	0,2	2,973	3,62	0	54	0	0,1	3,74	22,9	3,94	15,14

Por tanto para calcular el índice de condición presente tomamos los datos de la última muestra:

**Cuadro 15.** Muestra analizada de aceite pertenecientes a la última del periodo

FECHA	AL	B	C	CR	CU	DI	FE	H2	MO	NA	PB	SI	VI
02/15/00	2,55	0.84	0,2	2,973	3,62	0	54	0	0,1	3,74	22,9	3,94	15,14

Para obtener la calificación dividimos el valor de cada elemento mostrado en la tabla entre su limite permisible, para motores Cummins aparecen a continuación y en el Anexo B aparecen los límites máximos permisibles para cada motor en análisis.

**Cuadro 16.** Límites máximos permisibles en el análisis de aceite para motores Cummins

AL	B	C	CR	CU	DI	FE	H2	MO	NA	PB	SI	VI
8	1.2	0,4	5	40	2,5	50	0,3	5	10	10	12	17

Por ejemplo la calificación para el aluminio será:

$$AL = \frac{2.55}{8} = 0.31875$$

Para el boro:

$$B = \frac{0.84}{1.2} = 0.7$$

La calificación de los otros elementos aparecen resumidos en la siguiente tabla:

Cuadro 17. Calificación Índice de condición presente

AL	B	C	CR	CU	DI	FE	H2	MO	NA	PB	SI	VI
0,31875	0.7	0,5	0,5946	0,0905	0	1,08	0	0,02	0,374	2,29	0,32833	0,8906

Ahora el índice de condición presente es la suma de las calificaciones de los elementos del análisis de aceite, por tanto para este caso:

$$ICP = 0.31875 + 0.7 + 0.5 + 0.5946 + 0.0905 + 0 + 1.08 + 0.02 + 0.374 + 2.29 + 0.328 + 0.89$$

$$ICP = 7.186$$

**6.3.2 Índice de condición histórica (ICH).** El índice de condición histórica es la calificación del comportamiento o las tendencias en los análisis de aceites del periodo en cuestión, se obtiene de la siguiente manera:

Cuadro 18. Muestra de análisis de aceite para evaluar ICH. Se puede observar que no aparecen los datos del 15 de febrero ya que no hacen parte de este análisis.

FECHA	AL	B	C	CR	CU	DI	FE	H2	MO	NA	PB	SI	VI
11/27/99	0	0.76	0,29	1	2	0	17	0	0	3	2	2	15,12
12/13/99	2	0.46	0,36	2	3	0	34	0,13	0	3	23	2	15,02
12/17/99	2	0.38	0,56	3	4	0	40	0	0	3	28	2	15,02
12/26/99	0,74	1.2	0,13	1,374	1,95	0	21	0	0,1	2,74	2,34	2,59	14,79
01/14/00	2,56	0.50	0,36	2,944	2,81	0	44	0	0,11	2,53	24,4	3,17	14,84
01/18/00	8,36	1.72	0,11	1,379	1,41	0	23	0	0,1	3,98	4,48	28,46	14,54
01/24/00	1,17	1.66	0,1	1,266	1,4	0	10	0	0,1	1,54	2,01	1,47	14,97
01/29/00	1,33	1.69	0,18	1,557	1,55	0	7	0	0,1	3,63	1,75	2,12	14,83

$$ICH = \sum_{i=1}^{i=13} \frac{X_i \text{ promedio}}{X_i \text{ max imo}}$$

i = Elemento contaminante.

1. Se calcula la media o promedio de cada elemento presente en el análisis de aceite excluyendo la última muestra ya que esta hace parte del presente y no de la historia

$$AL = \frac{(0 + 2 + 2 + 0.74 + 2.56 + 8.36 + 1.17 + 1.33)}{8}$$

$$AL = 2.27$$

AL	B	C	CR	CU	DI	FE	H2	MO	NA	PB	SI	VI
2,27	1.04	0,261	1,815	2,265	0	24,5	0,01625	0,06375	2,9275	10,9975	5,47625	10,891

Cuadro 19. Promedios históricos del periodo evaluado

2. Se califican los componentes de igual forma como se calificó el índice presente, es decir, se dividen los promedios entre los valores correspondientes a los límites permisibles, de la siguiente manera:

$$AL = \frac{2.27}{8} = 0.284$$

AL	B	C	CR	CU	DI	FE	H2	MO	NA	PB	SI	VI
0,28375	0,87083	0,6525	0,363	0,056625	0	0,49	0,0541667	0,01275	0,29275	1,09975	0,45635	0,6406471

Cuadro 20. Calificación índice de condición histórica.

3. La suma de estos valores determina la calificación del índice de condición histórica.

$$ICH = 0.2838 + 0.87 + 0.6525 + 0.363 + 0.0566 + 0 + 0.49 + 0.0542 + 0.01275 + 0.2975 + 1.0997 + 0.4554 + 0.640547$$

$$ICH = 5.508852$$

**6.3.3 Índice de condición combinatorio (ICC).** Este calculo permite evaluar los fenómenos asociados con la combinación de altos niveles de metales, es decir, en un análisis de aceite podemos encontrar incrementados los niveles de silicio, hierro y cromo; investigando un poco se encuentra que la alta concentración de estos elementos significa desgaste en el motor y que este desgaste aparece al ingresar, a través del sistema de admisión de aire, partículas de polvo al motor; el polvo es un elemento abrasivo que debido al movimiento alternativo de los pistones va desgastando las camisas y los anillos del pistón, en el análisis de

aceite aparecen entonces grandes concentraciones de hierro, silicio y cromo porque las camisas son de fundición de hierro, los anillos de cromo y el elemento principal de la tierra es el silicio.

Para evaluar estas combinaciones realizamos el siguiente análisis:

1. Se evalúa el análisis de aceite presente es decir el correspondiente al 15 de febrero del 2000 igual que en el caso del índice de condición presente se divide el valor de cada elemento que aparece en el análisis de aceite entre el límite máximo de cada elemento.

Cuadro 21. Última muestra de análisis de aceite del periodo

FECHA	AL	B	C	CR	CU	DI	FE	H2	MO	NA	PB	SI	VI
02/15/00	2,55	0.84	0,2	2,973	3,62	0	54	0	0,1	3,74	22,9	3,94	15,14

Por ejemplo la calificación para el aluminio será:

$$AL = \frac{2.55}{8} = 0.31875$$

Para el boro:

$$B = \frac{0.84}{1.2} = 0.7$$

La calificación de los otros elementos aparecen resumidos en la siguiente tabla:

Cuadro 22. Calificación del análisis de aceite respecto a sus límites

AL	B	C	CR	CU	DI	FE	H2	MO	NA	PB	SI	VI
0,31875	0,69917	0,5	0,5946	0,0905	0	1,08	0	0,02	0,374	2,29	0,32833	0,8906

2. Para el calculo combinatorio se tiene en cuenta lo siguiente:

Se califica con 0.5 aquellos valores que al ser divididos entre su valor limite se encuentran entre  $0.5 \leq x < 1$  y se califica con 1 aquellos valores que sean  $x \geq 1$ , los valores comprendidos entre  $0 \leq x < 0.5$  se califican con 0.

Es decir:

La calificación del Boro es de 0.699 en el índice combinatorio tiene un valor de 0.5 y el Plomo que tiene un valor de 2.29 se califica con un valor de 1 en la siguiente tabla se resume esta calificación:

Cuadro 23. Calificación índice de condición combinatorio

AL	B	C	CR	CU	DI	FE	H2	MO	NA	PB	SI	VI
0	0,5	0,5	0,5	0	0	1	0	0	0	1	0	0

la calificación de este parámetro sera:

$$ICC = 0.5 + 0.5 + 0.5 + 1 + 1$$

$$ICC = 3.5$$

**Nota:** el intervalo de asignación del 0.5 no aplica para la viscosidad y para el caso cuando sólo aparezca aumentado el valor del silicio no se considerara calificación,

ya que esto indica que la muestra fue mal tomada o esta contaminada, en ese caso el **ICC = 0**.

Para realizar el calculo del índice de condición de aceite se suman los anteriores valores calculados y se divide entre un factor de corrección.

$$ICA = \frac{(icp + ich + icc)}{\text{factordecorrección}}$$

$$ICA = \frac{(icp + ich + icc)}{3 \times 13}$$

$$ICA = \frac{(icp + ich + icc)}{39}$$

$$ICA = \frac{(7.186 + 5.5 + 3.5)}{39}$$

$$\mathbf{ICA = 0.41525}$$

El factor de corrección se introduce bajo el siguiente razonamiento: al sumar las calificaciones de los elementos presentes en el análisis de aceite desde el aluminio hasta la viscosidad se suman trece valores y para poder obtener la calificación promedio es necesario incluir este valor situación que también se

presenta cuando sumamos ICP, ICH e ICC, para no realizar cálculos que pueden causar errores por descuidos se hace la operación al final, aprovechando que es necesario aplicarla a todas las variables.

#### **6.4 CONSUMO DE COMBUSTIBLE**

Para realizar el calculo del consumo de combustible se emplearon valores de referencia establecidos por la empresa, valores que son productos de la experiencia y la practica, estos valores permiten comparar un valor estipulado con un valor real para saber si se excedió el consumo en un periodo determinado, para motores Cummins es aceptable hasta 32 gal/hr de consumo de combustible, en el Anexo C se listan los consumos permisibles para las demás flotas. Al obtener los registros de suministro de combustible y los valores del tiempo de operación del equipo, resulta bastante sencillo obtener el consumo (Gal/hr) en cada periodo.

Para calificar el consumo de combustible se tiene en cuenta las siguientes consideraciones:

- Cuando se posea mas de un registro de tanqueo por día se escogerá el último registro de ellos.

- El consumo de combustible se contabiliza como una suma entre todos los rellenos desde el registro del último PM, hasta el actual PM, o a la fecha actual.
- Las *horas de trabajo* se contabilizarán como la resta de horómetros del camión entre la fecha de corte actual y el horómetro de la anterior fecha de corte.
- El consumo (Gal/Hr), es igual a la suma de los suministros dividida entre las horas de trabajo.
- Las horas acumuladas de trabajo del camión se contabilizarán como la sumatoria de todas las *horas de trabajo* del camión hasta el periodo calificado actual.

Se considerara más grave que el consumo de combustible exceda el límite permisible en las primeras horas de funcionamiento del equipo y a medida que se acumulen las horas de operación esta calificación disminuirá, la razón es sencilla entre más horas haya trabajado un equipo más desgaste debería tener por esto es mas aceptable esta falla y se califica con menos rigor, para establecer los rangos de calificación se tuvo en cuenta el estimativo de vida que actualmente se tiene

para los motores Cummins (cerca de las 14000 horas de operación), la calificación aparece en la siguiente tabla:

**Cuadro 24.** Rangos de calificación del consumo de combustible para motores Cummins

Horas de operación	Calificación
0 -3500	0.5
3500 - 7000	0.5
7000 - 10500	0.35
10500 en adelante	0.15

Lo cual indica que si la falla ocurre entre las primeras 3500 horas de operación del equipo, tendrá una calificación de 0.5 en la variable consumo de combustible (CC), el mismo concepto se aplica para los otros rangos que aparecen en la tabla.

El estimativo de vida para las otras flotas analizadas y los valores correspondientes de calificación del consumo de combustible aparecen en el Anexo D.

**Ejemplo:**

El camión 0220338 de la flota Caterpillar (tipo C) llega a PM el día 30 de enero del 2001, luego que sale a hacer su recorrido, es necesario realizar el tanqueo de combustible, por tal motivo para nuestro calculo a partir de este momento empiezan a contar todos los suministros que sumados hasta el momento que se realiza el próximo PM, determina el suministro total de combustible para ese

periodo y la diferencia entre los horómetros establecen el tiempo de operación que tuvo el equipo.

Cuadro 25. Suministro de combustible camión 0220338. Tipo Caterpillar serie 793 C

<i>CAMION</i>	<i>FECHA</i>	<i>Hr</i>	<i>CANT</i>	<i>TIPO</i>
220338	20010130	12129,94	912	ACPM
220338	20010131	12140,17	977	ACPM
220338	20010202	12182,95	915,4	ACPM
220338	20010203	12197,49	944	ACPM
220338	20010204	12214,84	903	ACPM
220338	20010205	12253,37	970,9	ACPM
220338	20010206	12275,24	936	ACPM
220338	20010207	12296,07	926	ACPM
220338	20010208	12338,63	1001	ACPM
220338	20010210	12358,45	971	ACPM
220338	20010211	12376,66	971	ACPM
220338	20010212	12376,66	918,1	ACPM
220338	20010213	12399	934,6	ACPM
220338	20010214	12420,46	940,3	ACPM
220338	20010215	12441,43	958,6	ACPM
220338	20010216	12461,78	933	ACPM
220338	20010217	12484,05	933	ACPM
220338	20010218	12504,66	966,6	ACPM
220338	20010219	12526,47	942,7	ACPM
220338	20010220	12547,04	957	ACPM
220338	20010221	12568,7	895	ACPM
220338	20010222	12589,86	939	ACPM
220338	20010223	12611,49	919	ACPM
220338	20010224	12651,01	942	ACPM
220338	20010226	12651,01	933	ACPM
220338	20010227	12669,01	857,9	ACPM
220338	20010228	12690,44	940	ACPM
220338	20010301	12713,12	940	ACPM
220338	20010303	12713,12	944	ACPM
220338	20010305	12734,54	902	ACPM
220338	20010306	12752,12	905	ACPM
220338	20010308	12773,87	964	ACPM
220338	20010309	12816,9	832,9	ACPM
220338	20010310	12816,9	964	ACPM
220338	20010311	12816,9	969	ACPM
220338	20010312	12838,38	904	ACPM
220338	20010313	12860,06	958	ACPM
220338	20010315	12881,71	950	ACPM
220338	20010316	12916,09	968	ACPM

220338	20010317	12935,82	939,5	ACPM
220338	20010318	12957,76	930	ACPM
220338	20010320	12979,51	984,3	ACPM
220338	20010321	13001,48	871	ACPM
220338	20010323	13022,86	979	ACPM
220338	20010325	13044	935	ACPM
220338	20010326	13066,56	945	ACPM
220338	20010327	13088,37	910	ACPM
220338	20010328	13110,26	970,4	ACPM
220338	20010329	13131,98	970,4	ACPM
220338	20010329	13152,94	977	ACPM
220338	20010329	13170,6	932	ACPM
220338	20010330	13191,09	956	ACPM
220338	20010401	13205,36	890	ACPM

Suministro total =  $\Sigma$  Suministros parciales entre PM's

Suministro total = 49727.6 GAL de combustible

*Tiempo total de operación* = Horómetro último PM - Horómetro del PM anterior

*Tiempo total de operación* = 1075.42 Hrs

$$\text{Consumo de combustible} = \frac{49727.6 \text{ gal}}{1075.42 \text{ hr}}$$

Consumo = 46.24 gal/hr

Este es un motor Caterpillar tipo C, en el Anexo D encontramos que para este tipo de motor el consumo máximo de combustible son 45 gal/hr, y el motor tiene acumulado 5000 horas de operación, por tal motivo, el tiempo de operación del

motor se encuentra comprendido entre el rango  $3500 < x \leq 6000$  horas, por tanto la calificación de este parámetro para este período será:

$$CC = 0.35$$

## 6.5 CONSUMO DE ACEITES

El excesivo consumo de aceite es uno de los primeros indicios de que el motor Diesel esta funcionando mal, es una de los factores más relevantes en la condición de un motor. Pero, el consumo de aceite esta condicionado por el tipo de motor y los tipo de ciclos que utiliza, por ejemplo el motor Cummins es un motor de cuatro tiempos que maneja un consumo aproximado de 2 Gal de aceite por 20 horas de operación, mientras que el motor Detroit es un motor de dos tiempos en el cual es permitido un consumo de 8 galones por 20 horas de operación, sin embargo hay que tener cuidado en subestimar o sobrevalorar un alto consumo de aceite.

Para calificar esta variable se deben tener en cuenta los siguientes pasos:

- Una vez se poseen los registros de la historia de consumo de lubricantes de motor, se eliminan los rellenos que sean mayores a 20 galones y menores a -20 galones\*. Esto con el fin de filtrar únicamente los registros relacionados con consumos de lubricantes por parte del motor, eliminando los cambios de aceite y rellenos por fugas.

- El consumo en un periodo determinado se contabiliza como la sumatoria entre todos los rellenos que cumplan la siguiente condición:

$$\textit{fecha PM}_{\textit{anterior}} < \textit{fecha relleno} \leq \textit{fecha PM}_{\textit{actual}}.$$

- El consumo de lubricantes (Gal/Hr), es el número que se obtiene de dividir la suma de los rellenos, entre las horas de trabajo que se tienen en el registro de consumos de ACPM.
- Se entiende como las *horas acumuladas de trabajo del camión* como la sumatoria de todas las *horas de trabajo* del camión hasta el periodo calificado actual (mismas que en consumos de Combustibles).

La calificación de esta variable, el consumo de lubricante permitido y los periodos donde se aplican aparece listado en el anexo D.

A continuación vemos la aplicación de esta variable a un motor Cummins, para el cual es permitido un consumo de 0.06 gal/hr. Las fechas de corte para este caso serán: 11/15/99 y 02/13/00.

Cuadro 26 Listado de suministro de lubricante

Semana	Fecha	Tipo	Suministro	Horometro
82	11/15/99	X15W40	42	66168
82	11/19/99	15W40T	2	66227
82	11/20/99	15W40T	1	66245
83	11/21/99	15W40T	2	66259
83	11/25/99	15W40T	3	66335
84	11/28/99	15W40T	3	66381
84	12/02/99	15W40T	2	66444
86	12/16/99	X15W40	44	66578
87	12/21/99	15W40T	2	66670
87	12/23/99	15W40T	2	66712
88	12/29/99	15W40T	2	66800
89	01/02/00	15W40T	3	66837
89	01/07/00	15W40T	2	66903
90	01/11/00	15W40T	2	66956
90	01/13/00	X15W40	4	66965
91	01/19/00	X15W40	41	67007
91	01/21/00	15W40T	5	67044
91	01/22/00	15W40T	2	67049
93	01/31/00	15W40T	3	67164
94	02/07/00	15W40T	4	67287
94	02/10/00	15W40T	2	67350
94	02/11/00	15W40T	3	67369
95	02/13/00	X15W40	43	67402

De esta tabla se excluyen los valores de los cambios de aceite para así trabajar solo con los rellenos en campo.

Cuadro 27 Análisis rellenos de aceite

Semana	Fecha	Suministro	Horometro
82	11/15/99	42	66168
82	11/19/99	2	66227
82	11/20/99	1	66245
83	11/21/99	2	66259
83	11/25/99	3	66335
84	11/28/99	3	66381
84	12/02/99	2	66444
87	12/21/99	2	66670
87	12/23/99	2	66712
88	12/29/99	2	66800
89	01/02/00	3	66837
89	01/07/00	2	66903
90	01/11/00	2	66956
90	01/13/00	4	66965
91	01/21/00	5	67044
91	01/22/00	2	67049
93	01/31/00	3	67164
94	02/07/00	4	67287
94	02/10/00	2	67350
94	02/11/00	3	67369
95	02/13/00	43	67402

Suministro total =  $\Sigma$  suministros en campo

Suministro total = 49 gal de aceite

Horas de operación = Horómetro PM actual - Horómetro PM anterior

Horas de operación = 67402 - 66168

Horas de operación = 1234 horas

$$\text{consumo de aceite} = \frac{49 \text{ gal}}{1234 \text{ hr}}$$

Consumo de aceite = 0.04 gal/hr

Al igual que en el consumo de combustible el consumo de aceite se califica con 0 (cero) cuando el consumo es menor o igual al estimado o admisible. Por tanto la calificación del consumo de aceite será:

**CA = 0**

## **6.5 ANÁLISIS DE ORDENES DE TRABAJO (OT's)**

Cada cierto tiempo llegan los equipos al taller de mantenimiento para su revisión, cambio de filtros y aceite, otras veces son traídos de emergencia por alguna falla que los deja fuera de servicio. Sea cual fuera el caso, al final de la operación los trabajadores deben generar un reporte sobre cualquier evento observado en el equipo, así como cualquier cambio o reparación hecha al mismo.

Por tanto las ordenes de trabajo indican las fallas que ha presentado un motor durante su historia. Entre la información que se puede recolectar de estas OT's se puede encontrar registros de recalentamientos, presiones anormales, y otros indicios que el motor esta funcionando de manera incorrecta.

De las alarmas y ordenes de trabajos se escogieron aquellas cuya influencia sobre la vida del motor parecen ser más determinantes y, entre ellas se asignaron diferentes pesos de acuerdo con la importancia de cada una. Se seleccionaron las siguientes:

- Alta presión del cárter
- Alta temperatura
- Ruido/ Detonaciones
- Aceite contaminado (Dilución)
- Baja presión de aceite
- Fugas de refrigerantes
- Fugas de aceite

Para asignar una calificación por este concepto se deben seguir los siguientes pasos:

- Obtener las fechas de corte para el reporte de las ordenes de trabajo. Las OT's que se incluyen dentro de un periodo calificado son las que su fecha cumple la siguiente condición:

$$\textit{fecha PM}_{\textit{anterior}} < \textit{fecha OT} \leq \textit{fecha PM}_{\textit{actual}}$$

para determinar el orden de importancia se realizaron tres grupos, tal como se muestra a continuación:

- OT's graves (**G**): Son aquellas donde se encuentra:

Alta temperatura del refrigerante.

Aceite contaminado (DILUCIÓN).

Alta presión del cárter.

Baja presión de aceite.

- OT's Medias (**M**):

Ruidos / Detonaciones.

- OT's Leves (**L**):

Fugas de refrigerante y de aceite.

Este tipo de problemas son fácilmente identificables dentro de un motor, ya que al cerrar las ordenes de trabajo, la persona encargada de cerrarla debe consignar una serie de códigos especiales donde entre otras cosas se consigna el síntoma del problema, el sistema que fallo, el código de causa y códigos de defecto.

A continuación se presentan los diferentes problemas en ordenes de trabajo con sus respectivos códigos de falla:

Cuadro 28. Códigos que representan las ordenes de trabajo relacionadas con el motor. Estos códigos son guardados en la base de datos principal (MIMS OE).

Código de cierre	Wo_Codex1	Wo_Codex4	Wo_Codex5
------------------	-----------	-----------	-----------

<b>Tipo de OT</b>			
<b>Grave</b>	017 - 296 - 241 - 240 - ACONT	CONT	DILCO - ACONT - CONT - ALTEM
<b>Media</b>	239		
<b>Leve</b>	242 - 005 - 032 - FUGA		

### Calificación por ot's graves:

Cuadro 29. Calificación de las OT's graves para los diferentes motores analizados

Número de OT's	Cummins	Detroit	Cat serie B	Cat serie C
1 a 3	0.3	0.3	0.1	0.2
3 o más	0.5	0.8	0.3	0.4

### Calificación por ot's Medias:

Cuadro 30. Calificación de las OT's media para los diferentes motores analizados

Número de OT's	Cummins	Detroit	Cat serie B	Cat serie C
1 a 3	0.2	0.2	0.04	0.1
3 o más	0.5	0.4	0.08	0.2

### Calificación por ot's Leves:

Cuadro 31. Calificación de las OT's leves para los diferentes motores analizados

Número de OT's	Cummins	Detroit	Cat serie B	Cat serie C
1 a 3	0.1	0.1	0.03	0.05
3 o más	0.2	0.2	0.06	0.1

La calificación para el periodo será:

$$\text{Análisis de OT's (OT's)= G + M + L}$$

En los códigos de cierre en ordenes de trabajo muchas veces se encuentran selecciones múltiples, es decir, existen códigos de síntomas que se ajusta tanto como a una OT grave como a otra OT considerada media o leve. Para solucionar este problema se debe tomar únicamente la de mayor peso de ellas.

Se observa que en la calificación de estos códigos no aparecen alarmas que se consideran de nivel medio, pero si aparecen graves y leves, para este caso la calificación del parámetro OT's (o RA, reportes de alarmas) será:

El código **ACONT** y el **240** representan los reportes de dilución por combustible, estos son eventos de nivel grave, con base en la tabla 25 y siendo este un motor Cummins tendremos que el evento no se repite más de tres veces en el periodo por tanto la calificación de las OT's graves será:

$$\mathbf{G = 0.3}$$

El código **FUGA** representa el reporte por fuga de refrigerante, sólo se presenta una vez, por tanto su calificación será:

$$\mathbf{L = 0.1}$$

Recuérdese que el cálculo de esta variable viene dado por:

$$\mathbf{RA = G + M + L}$$

Por tanto:

$$RA = 0.4$$

## 6.6 CALCULO DEL ICM

Después de haber recopilado toda esta información acerca de la condición del motor, se efectúa el calculo del ICM el cual viene dado por:

$$ICM = ICMA + \frac{(REP - ICA - CC - CA - OT)}{5} * \frac{HRScalificadas}{p.hora}$$

Donde el ICMA es un parámetro histórico que es igual a la calificación inmediatamente anterior que el motor había obtenido.

La formula del ICM esta compuesta de dos partes, la primera es la parte afectada por los parámetros antes calculados, (Rep, CC, CA, OT), y la segunda es un parámetro horario que permite al modelo predecir la vida de un motor no importando que parámetro ha sido escogido para realizar las fechas de corte de

datos. En la primera parte todos los parámetros de calificación son negativos excepto la calificación debida a las REP, esto se debe a que todos los eventos antes calificados le restan vida útil al motor, mientras que el parámetro REP es como ya se explicó el único que aumenta la vida útil del mismo.

La segunda parte se obtiene partiendo de la base que si un motor es calificado en intervalos mas cortos de tiempo, su calificación será más severa que si se hiciese en intervalos de 1200 horas, el parámetro **hrs calificadas/p.hora** ayuda a que la calificación de alguna manera no sea tan drástica y permita que el modelo funcione adecuadamente.

Como se puede observar si el tiempo calificado es igual a los intervalos en Horas de los PM's, el parámetro se convierte en 1, si el tiempo calificado es menor el parámetro es menor que 1, y si este es menor el parámetro es mayor que uno, calificando al motor en una forma más severa, además si el tiempo calificado tiende a cero, la calificación tiende a ser igual a **ICMA**, siendo esto lógico.

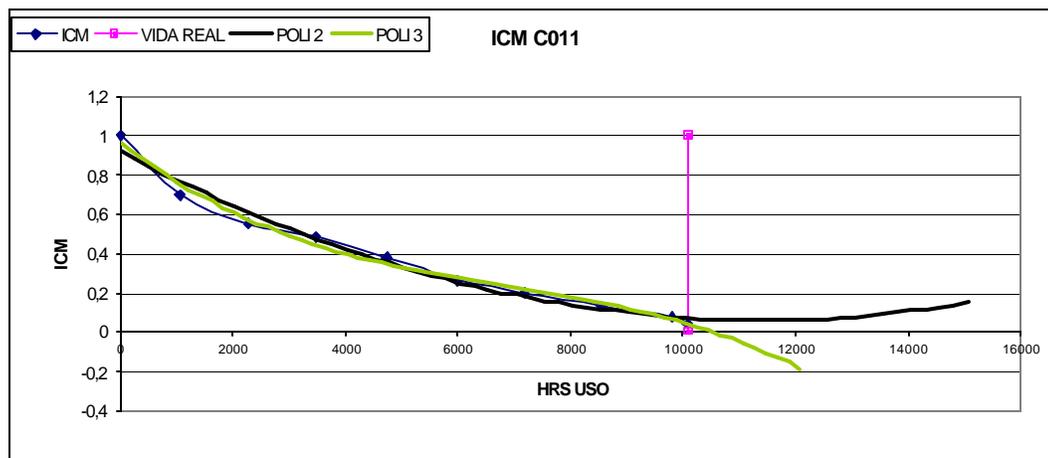
**Ejemplo:**

Después de Haber realizado este proceso para cada uno de los intervalos entre PM's del camión 0220011 tenemos que los resultados fueron los siguientes:

periodo	hrs uso	Hrs acum	Icm periodo	ICM
0	0	0	0	1
1	1036.76	1036.76	0.3	0.70
2	1230.73	2267.49	0.16	0.54
3	1212.74	3480.23	0.06	0.48
4	1262.17	4742.4	0.11	0.37
5	1247.48	5989.88	0.11	0.26
6	1198.01	7187.89	0.06	0.20
7	1359.77	8547.66	0.08	0.12
8	1259.8	9807.46	0.05	0.07
9	269.05	10076.51	0.03	0.04

Donde la columna "ICM periodo" representa la parte de la ecuación igual a  $(REP+CC+CL+OT's)/5$ , y la casilla "ICM" representa la ecuación completa.,

Tenemos pues que al graficar la series ICM Vs horas calificadas en un plano cartesiano, se obtiene una gráfica del siguiente estilo:



**Figura 24** Curva de ICM para el equipo 0220011

Donde se puede observar la tendencia de la serie de puntos y las predicciones acerca de la vida del motor.

hay que resaltar que ICM es un proyecto pionero en su genero y que con el tiempo será una gran herramienta para la evaluación y planeación del mantenimiento permitiendo ahorrar dinero por cambios innecesarios y realizando las correcciones y cambios en el momento más adecuado.

## **7. CÁLCULO DE LAS ECUACIONES QUE PRONOSTICAN LA VIDA ESPERADA DEL MOTOR**

Como el objetivo del ICM es el pronostico de la vida remanente de un motor, entonces se hace indispensable el uso de técnicas matemáticas de extrapolación en series de datos, para lograrlo.

Habiendo estudiado el comportamiento del ICM en varios motores, se decidió que se utilizarán tres tipos de ajustes en la curva de regresión, estos tres fueron los que mejor resultado dieron, la escogencia de uno o de otro por parte de analista queda a criterio personal, ya que, y a pesar de la existencia de parámetros tales como el coeficiente de correlación ( $R^2$ ) el cual indicaría que tan acertada fue la relación obtenida, este no asegura nada en cuanto a que tan acertadas podrían llegar a ser las predicciones que sobre futuros valores se hagan basadas en ella.

Se tienen casos en los cuales el coeficiente de correlación es de 1 (indica un ajuste al 100% de los puntos) mas cuando se utiliza esta ecuación para predecir futuros valores da una vida aproximada incoherente, mas de 30000 Hrs o infinita, que no se ajusta a la realidad.

## 7.1 AJUSTE LINEAL

La regresión mas sencilla de utilizar es de tipo lineal, de la forma  $y=mx+b$ , donde  $b$  es el punto de corte de la recta con el origen, y  $m$  es la pendiente de la misma.

El calculo de  $m$ , se sigue de la siguiente manera:

En primer lugar se deben obtener los datos de ICM "**y**" y de horas de trabajo acumuladas "**x**" previamente calculados en el punto anterior, se prosigue a usar la siguiente formula:

$$m = \frac{n * \sum x * y - \sum x * \sum y}{n * \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (1)$$

El siguiente paso es calcular el intercepto de las curva con el eje dependiente (**y**), para lo cual se utiliza la formula:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} - m * \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2)$$

## 7.2 AJUSTE POLINOMICO

El segundo tipo de ajuste de curvas que se utilizará será el polinómico de segundo orden, la ecuación general de este tipo de curva es la siguiente:

$$y = A_0 + A_1 * x + A_2 * x^2 \quad (3)$$

Los coeficientes  $A_n$ , son constantes las cuales deben ser calculadas, "**y**" sería el valor de ICM, y por último **x** sería la variable independiente tiempo.

Para calcular estas constantes es necesario resolver el siguiente sistema de ecuaciones lineales:

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^n y_i &= A_0 * n + A_1 * \sum_{i=1}^n x_i + A_2 * \sum_{i=1}^n x_i^2 \\
\sum_{i=1}^n y_i * x_i &= A_0 * \sum_{i=1}^n x_i + A_1 * \sum_{i=1}^n x_i^2 + A_2 * \sum_{i=1}^n x_i^3 \\
\sum_{i=1}^n y_i * x_i^2 &= A_0 * \sum_{i=1}^n x_i^2 + A_1 * \sum_{i=1}^n x_i^3 + A_2 * \sum_{i=1}^n x_i^4
\end{aligned} \tag{4}$$

Este sistema de ecuaciones lineales se puede resumir en la siguiente matriz

( $A * x = b$ ):

$$\begin{bmatrix}
n & \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 \\
\sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i^3 \\
\sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i^3 & \sum_{i=1}^n x_i^4
\end{bmatrix} * \begin{bmatrix} A_0 \\ A_1 \\ A_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_i * y_i \\ \sum_{i=1}^n x_i^2 * y_i \end{bmatrix} \tag{5}$$

El cual se resuelve utilizando la siguiente propiedad de las matrices:

$$A^{-1} * b = x \tag{6}$$

**Nota:** Por simplicidad, se renombrarán las matrices con letras, de esta forma las ecuaciones son más fáciles de leer:

a1 viene siendo la matriz "A":

$$a1 := \begin{bmatrix} a & b & c \\ b & c & d \\ c & d & e \end{bmatrix} \tag{7}$$

b1 es el vector independiente:

$$b1 := [v \ w \ x] \quad (8)$$

Y las constantes del polinomio estarían dadas por las siguientes formulas:

$$A0 = \frac{d b x - d^2 v + c d w - e b w + e v c - x c^2}{-c^3 + c a e + 2 c b d - b^2 e - a d^2} \quad (9)$$

$$A1 = - \frac{b e v - b c x - d c v + d a x - e a w + c^2 w}{-c^3 + c a e + 2 c b d - b^2 e - a d^2} \quad (10)$$

$$A2 = \frac{c b w - v c^2 + c a x + b d v - b^2 x - a d w}{-c^3 + c a e + 2 c b d - b^2 e - a d^2} \quad (11)$$

El polinomio de grado 3 se calcula en forma similar a como fue calculado el polinomio de grado 2, la única diferencia es que en este caso la matriz por resolver sería una de 4x4 en vez de una 3x3 como se realizó en el ejercicio anterior.

Los resultados para este polinomio se presentan a continuación:

Formula general:

$$y = A_0 + A_1 * x + A_2 * x^2 + A_3 * x^3 \quad (12)$$

Sistema lineal a resolver:

$$\begin{aligned}
 \sum_{i=1}^n y_i &= A_0 * n + A_1 * \sum_{i=1}^n x_i + A_2 * \sum_{i=1}^n x_i^2 + A_3 * \sum_{i=1}^n x_i^3 \\
 \sum_{i=1}^n y_i * x_i &= A_0 * \sum_{i=1}^n x_i + A_1 * \sum_{i=1}^n x_i^2 + A_2 * \sum_{i=1}^n x_i^3 + A_3 * \sum_{i=1}^n x_i^4 \\
 \sum_{i=1}^n y_i * x_i^2 &= A_0 * \sum_{i=1}^n x_i^2 + A_1 * \sum_{i=1}^n x_i^3 + A_2 * \sum_{i=1}^n x_i^4 + A_3 * \sum_{i=1}^n x_i^5 \\
 \sum_{i=1}^n y_i * x_i^3 &= A_0 * \sum_{i=1}^n x_i^3 + A_1 * \sum_{i=1}^n x_i^4 + A_2 * \sum_{i=1}^n x_i^5 + A_3 * \sum_{i=1}^n x_i^6
 \end{aligned} \quad (13)$$

Y su matriz característica:

$$\begin{bmatrix}
 n & \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i^3 \\
 \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i^3 & \sum_{i=1}^n x_i^4 \\
 \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i^3 & \sum_{i=1}^n x_i^4 & \sum_{i=1}^n x_i^5 \\
 \sum_{i=1}^n x_i^3 & \sum_{i=1}^n x_i^4 & \sum_{i=1}^n x_i^5 & \sum_{i=1}^n x_i^6
 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} A_0 \\ A_1 \\ A_2 \\ A_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_i * y_i \\ \sum_{i=1}^n x_i^2 * y_i \\ \sum_{i=1}^n x_i^3 * y_i \end{bmatrix} \quad (14)$$

Nota: De nuevo y por simplicidad, se renombrarán las matrices con letras, de esta forma las ecuaciones son más fáciles de leer.

Que quedaría convertida en:

$$a1 := \begin{bmatrix} a & b & c & d \\ b & c & d & e \\ c & d & e & f \\ d & e & f & g \end{bmatrix} \quad (15)$$

Y el vector independiente:

$$b1 := [v \ w \ x \ y] \quad (16)$$

Las constantes después de haber resuelto el sistema lineal serian:

$$A0 = \frac{(vcf^2 - 2vefd - vgc e + vgd^2 - bgdx + bge w + bdfy - bwf^2 + befx - be^2y + gc^2x - c^2fy - ce^2x + 2cdey + cefw - cgdw + d^2fw + ed^2x - dfcx - de^2w - d^3y + ve^3)}{(-2c^2df - e^2c^2 - d^4 + acf^2 + 2d^2bf + 3cd^2e - 2e^2db + gc^3 - 2aefd - gace + 2efbc + gad^2 - b^2f^2 + gb^2e - 2gdbc + ae^3)} \quad (17)$$

$$A1 = \frac{-(-gadx + gaew - gwc^2 + gcdv + gcbx - gebv + adfy - awf^2 + aefx - ae^2y + eyc^2 + 2cdfw - cefv - cbfy - cedx - cd^2y + dbey + d^3x - dbfx - d^2fv - d^2ew + dve^2 + bvf^2)}{(-2c^2df - e^2c^2 - d^4 + acf^2 + 2d^2bf + 3cd^2e - 2e^2db + gc^3 - 2aefd - gace + 2efbc + gad^2 - b^2f^2 + gb^2e - 2gdbc + ae^3)} \quad (18)$$

$$A2 = \frac{-(-d^2ev - cd^2x + c^2dy - d^2by + cfdv + b^2fy - gc^2v + gacx - ae^2x - dbfw + e^2cv - gb^2x + gbcw + d^3w + 2edbx + adey + aefw - acfy + gdbv - edcw - bcey - efbv - gadw)}{(-2c^2df - e^2c^2 - d^4 + acf^2 + 2d^2bf + 3cd^2e - 2e^2db + gc^3 - 2aefd - gace + 2efbc + gad^2 - b^2f^2 + gb^2e - 2gdbc + ae^3)} \quad (19)$$

$$A3 = \frac{(afcx + ae^2w - adfw - acey + ad^2y - aedx + fbcw + fdbv - ewc^2 + 2ecdv + ecbx - e^2bv + d^2bx - dbew - c^2dx + cd^2w - fc^2v - fb^2x + yc^3 - d^3v - 2ydbc + yb^2e)}{(-2c^2df - e^2c^2 - d^4 + acf^2 + 2d^2bf + 3cd^2e - 2e^2db + gc^3 - 2aefd - gace + 2efbc + gad^2 - b^2f^2 + gb^2e - 2gdbc + ae^3)} \quad (20)$$

### 7.3 PREDICCIONES

El objetivo principal de estos cálculos es el de obtener unas ecuaciones para de esta manera poder lograr una extrapolación, obteniendo así un estimativo de vida para el motor.

El siguiente paso sería con las formulas ya encontradas, encontrar el valor de la predicción.

Para la extrapolación lineal es fácil encontrar una formula explícita para el número de horas predichas por el modelo del ICM, esta se obtiene igualando la ecuación  $y=mx+b$  a cero (el modelo esta diseñado para que cuando su valor sea igual a cero indique vida final del motor), despejando de allí el valor de horas esperadas de trabajo. Esto seria de la siguiente forma:

$$\text{Horas esperadas de vida} = -b/m \quad (21)$$

Donde b, y m son los valores que previamente habían sido calculados con las ecuaciones 1 y 2

Para hallar la predicción que brinda el polinomio de grado dos es necesario hacer uso de la ecuación general para resolver ceros en ecuaciones cuadráticas y que viene dada por:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 * a * c}}{2 * a} \quad (22)$$

y donde las variables vienen siendo en este caso:

$$\mathbf{a=A_2} \quad (23)$$

$$\mathbf{b=A_1} \quad (24)$$

$$\mathbf{c=A_0} \quad (25)$$

Que ya fueron calculadas en los pasos anteriores (ecuaciones 9-10-11).

Este método da como resultado dos (2) diferentes raíces, se debe escoger la más lógica de las dos. Un valor lógico es aquella predicción que va desde las 3000 hasta las 30000 horas.

Se debe tener cuidado ya que en muchos de los casos se obtienen dos raíces que predecirán vidas "lógicas" del motor, es el caso de una predicción en 3000 y otra en 16000 acontecimiento bastante probable si tenemos en cuenta la naturaleza polinómica de la ecuación.

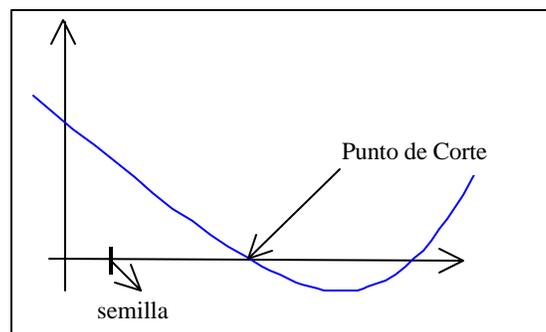
Predecir teniendo como ecuación el polinomio de grado 3 no es una labor fácil como para poder encontrar una formula explícita como lo fueron las dos anteriores. Se debe hacer uso de algoritmos mas sofisticados de calculo entre los cuales se expone el método de Newton-Raphson.

#### 7.4 MÉTODO DE NEWTON RAPHSON

Este método es bastante confiable y fácil de implementar. Se basa en el cálculo de las pendientes que cortan con el eje de las independientes y en herramientas de calculo diferencial.

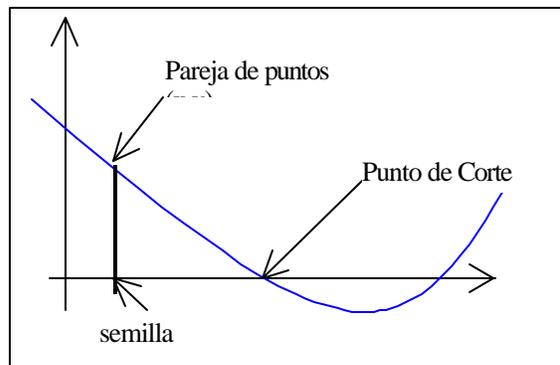
Gráficamente el método sigue los siguientes pasos:

Previamente se tiene una función que en algún punto pasa por cero, además se tiene también una semilla en le eje de los valores independientes:



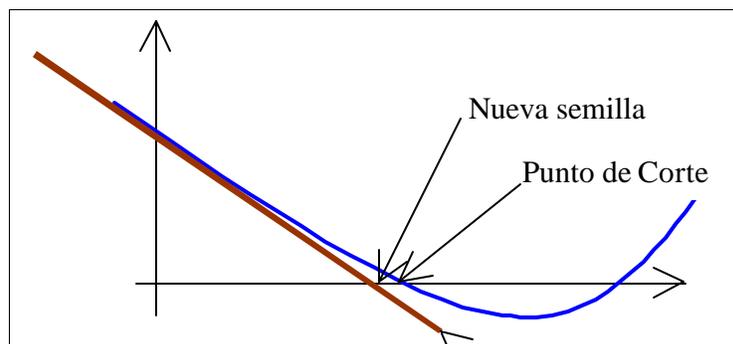
**Figura 25** Grafica de un función que se intercepta en algún punto con el eje horizontal

El primer paso sería el calcular para esa semilla su correspondiente punto en la gráfica.



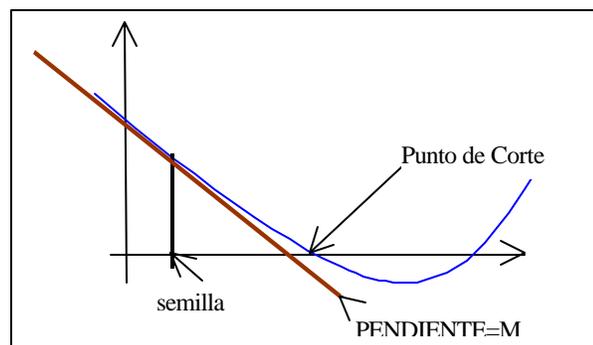
**Figura 26** Pareja de puntos  $(x,y)$  que están sobre la grafica

Una vez se tiene esa pareja de puntos  $(x,y)$ , es necesario calcular el valor de la pendiente en ese punto, este paso no representa mayor problema, ya que la función siempre es de la misma forma y se puede obtener una expresión simbólica.



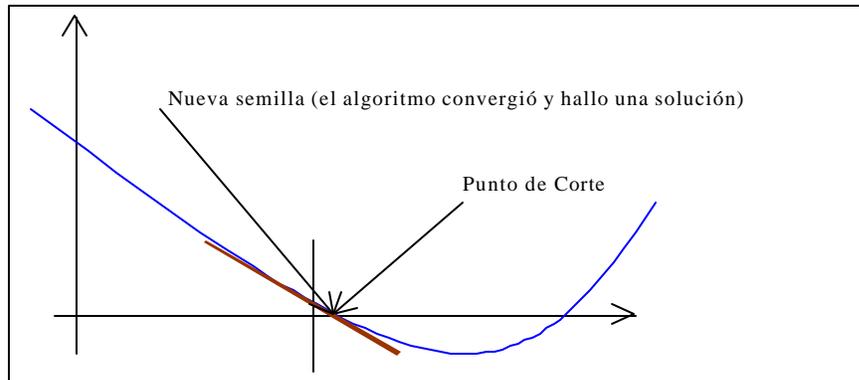
**Figura 27** Grafica de la recta tangente.

Teniendo esa pendiente se debe calcular el punto en el cual corta esa recta con pendiente "m" con el eje independiente, ese punto será la siguiente semilla en la cadena de iteraciones.



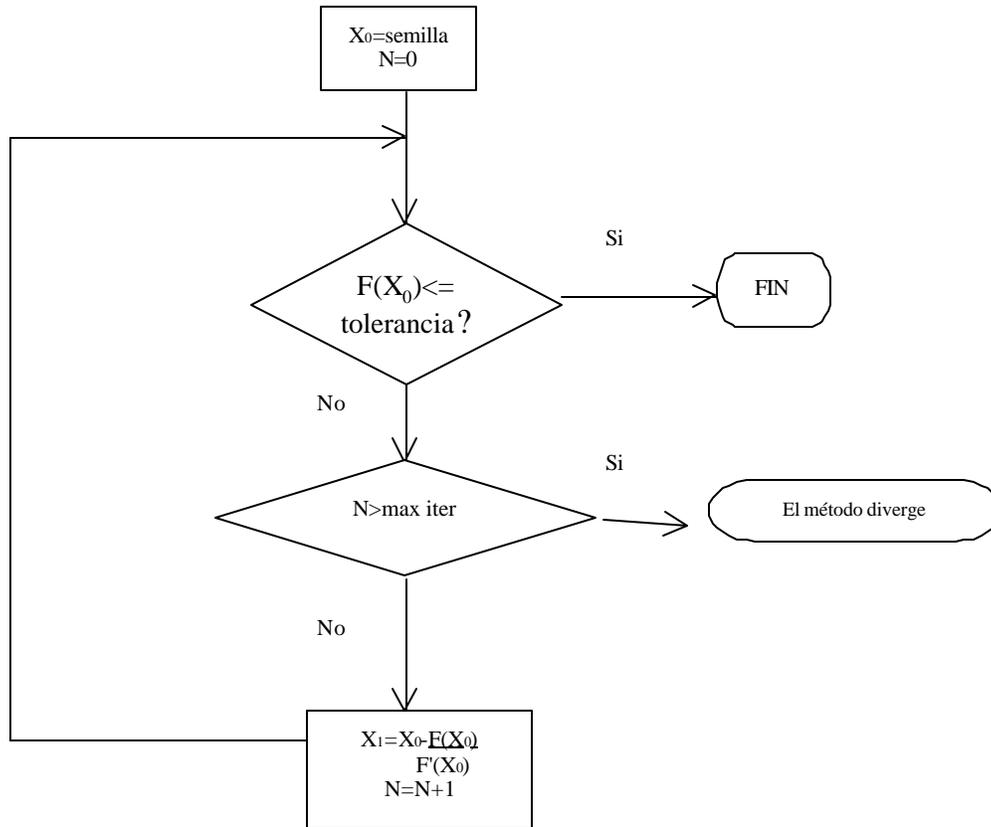
**Figura 28** La gráfica muestra el punto de corte de la recta tangente con el eje horizontal

A medida que se realizan sucesivas iteraciones, la semilla se va convirtiendo en el punto de valor cero. Se puede acercar uno tanto como quiera al valor real de la raíz pero en este caso solo tendría sentido hasta que tengamos un error de más o menos 1 hora. En algunos casos el algoritmo no converge, entonces se hace necesario escoger entonces un número máximo de iteraciones las cuales marcaran el final del algoritmo.



**Figura 29** Solución de la ecuación. La gráfica muestra que la recta tangente converge al punto donde la curva corta al eje horizontal

Aunque no se darán detalles acerca de como se obtiene el modelo matemático para el algoritmo, se presenta un diagrama de flujo para este, que vendría siendo de la forma mostrada en la figura 30



**Figura 30** Diagrama del algoritmo para el calculo de ICM

O a manera de código seria de la siguiente forma:

Contador =1

Máximas iteraciones =20

Tolerancia =1

$X_0$  = seed;

**Si** contador <= numero máximo de iteraciones

**Si**  $f(X_0) \geq$  tolerancia

$X_0 = X_0 - \frac{f(X_0)}{f'(X_0)}$

$f'(X_0)$

Contador = contador + 1

**Fin**

**fin**

El procedimiento no converge

$F'(X_0)$  es la derivada de la función objetivo evaluada en el punto  $X_0$ .

El procedimiento termina o bien cuando se halla una respuesta ( $f(X_0) \leq \text{tol}$ ) o cuando el algoritmo no converge y las iteraciones llegaron a su máximo (en este caso se debe dar una señal de ausencia de convergencia ya que es peligroso tomar como dato de predicción del modelo el último dato que entró al ciclo).

El único problema que presentaría este algoritmo sería el de encontrar la derivada para la función objetivo, cosa que sería resuelta de forma simple ya que como lo que tenemos es un simple polinomio en una variable de orden 2 máximo se puede hallar una expresión simbólica válida para todos los casos que vendría siendo de la siguiente forma para un polinomio de grado dos:

$$y' = A_1 + 2 * A_2 * x \quad (26)$$

Y para un polinomio de grado 3 tendríamos:

$$y' = A_1 + 2 * A_2 * x + 3 * A_3 * x^2 \quad (27)$$

## **8. BENEFICIO DE CONTAR CON UNA HERRAMIENTA PREDICTIVA QUE CUANTIFICA EL DESGASTE DE MOTORES DIESEL**

Gracias al desarrollo de esta herramienta de mantenimiento predictivo los planeadores y analista de las flotas de acarreo cuentan con una herramienta de soporte en el momento de tomar decisiones a cerca de la condición de los equipo, pero sobre todo les permite:

- Conocer la condición de un motor y sus componentes.
  
- Anticiparse a la ocurrencia de falla en los motores.
  
- Ahorrar tiempo, optimizando las labores de mantenimiento
  
- Tomar decisiones de planeación en las acciones de mantenimiento a ejecutar, incluyendo los planes de reposición de equipos y la rotación de componentes.
  
- Evaluar la confiabilidad de las reparaciones.

- Soportar la adopción del mantenimiento por condición, permitiendo decir cuando hay que remover un motor, independiente de la vida que tenga.
- Conocer el estado comparativo entre motores.

## **9. FALLAS TÍPICAS RELACIONADAS CON EL ACEITE LUBRICANTE**

### **9.1 SISTEMA DE LUBRICACIÓN**

Un conocimiento básico del sistema de lubricación del motor no solamente ayuda a comprender cómo la contaminación y la degradación del aceite pueden deteriorar los componentes de un motor sino que también ayuda a comprender por qué la falta de aceite puede tener un efecto igualmente debilitante.

La mayoría de las fallas relacionadas con el aceite son producidas por el aceite contaminado o degradado que fluye a través del motor o por la falta de lubricación de un componente determinado. Si se sabe cómo el sistema lubrica el motor, se simplifica el análisis de las fallas. Por ejemplo, si se descubre que un cojinete situado cerca del suministro de aceite lubricante está deteriorado por la

falta de lubricación, sabremos que los cojinetes más separados del suministro de aceite estarán aún más deteriorados.

El sistema de lubricación de cada motor puede variar ligeramente aunque muchos principios son idénticos. Tal como se muestra en el esquema, la bomba de aceite envía aceite a través del enfriador y después y después a través de los filtros. Si hay una reducción en el flujo las válvulas de derivación del enfriador de aceite o los filtros protegen el sistema. Al arrancar el motor con el aceite en frío o si el enfriador o el filtro se obstruyen, las válvulas de derivación aseguran el flujo constante del aceite de motor a través de los pasadizos.

El aceite fluye de los filtros al múltiples en el bloque y después a varios pasadizos de aceite en el bloque para lubricar y refrigerar distintos componentes del motor, después vuelve al cárter del motor.

## **9.2 FALLAS EN LOS COJINETES**

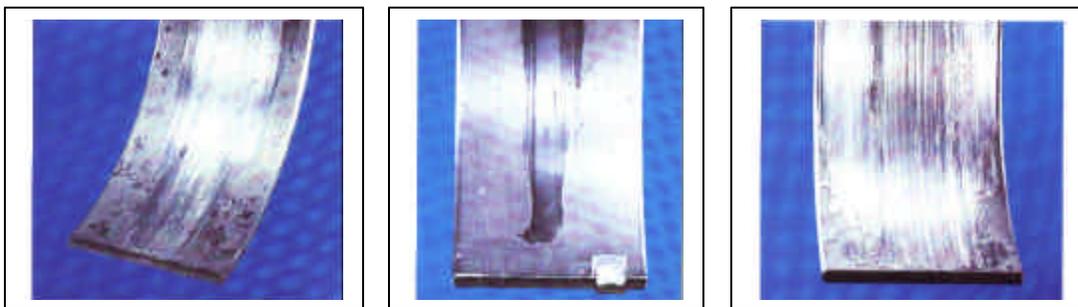
Las fallas de los cojinetes relacionadas con el aceite lubricante se atribuyen generalmente a dos causas: la falta de lubricación o tierra en el aceite.

La falta de lubricación o agarrotamiento del aceite lubricante significa que la película de aceite entre el muñón del cigüeñal y el cojinete es insuficiente. El funcionamiento prolongado del motor con una insuficiente película de aceite

causará que el deterioro del cojinete aumente rápidamente yendo desde un rozamiento hasta un desgaste excesivo para llegar finalmente al agarrotamiento del cojinete. La primera etapa es el “rozamiento” ; en esta etapa, se puede ver el desplazamiento de la cara de plomoestaño, normalmente en el centro del cojinete.

En la segunda etapa, “desgaste excesivo” , se desplaza el aluminio de la parte central del cojinete. Y la etapa final es el “agarrotamiento” total.

En las tres etapas, el giro del muños desplaza parte del material del cojinete desde la corona hacia la superficie de contacto de cada mitad de cojinete. La cantidad de material desplazado depende de la severidad de la falta de lubricación.



**Figura 31** Fallas en cojinetes

La contaminación en el aceite lubricante produce abrasión y su resultado es la rayadura de la superficie del cojinete al desaparecer la película de aceite. Las

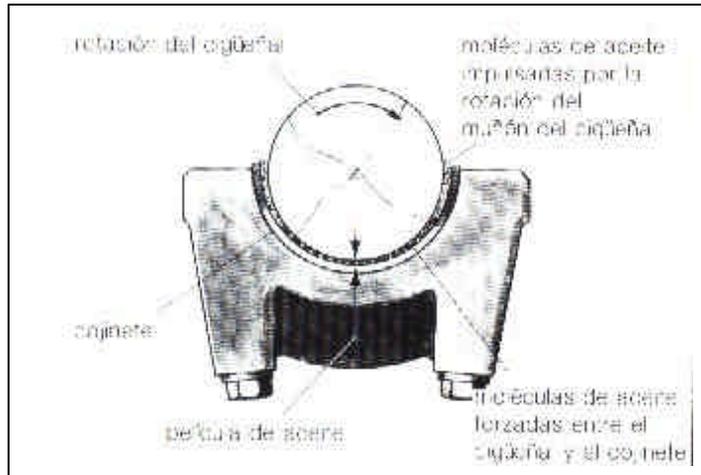
partículas de hierro, acero, aluminio, plástico, madera, tela, etc., también puede deteriorar la superficie del cojinete y del muñón, aumentándolos espacios libres y cambia el espesor de la película de aceite dando como resultado el apoyo desigual de as superficies.

Una de las causas principales del aceite contaminado es un filtro obstruido. Los filtros obstruidos permiten que el aceite sin filtrar conteniendo partículas de desgaste, tierra y residuos, alcance a los cojinetes, rayándolos y deteriorando sus superficies.

Un aceite excesivamente sucio puede producir deterioros aun después de cambiar el aceite. Parte de los abrasivos anteriores pueden haber quedado incrustados en el cojinete y hacer que el cojinete actúe como esmeril en el cigüeñal.

### **9.3 FALLAS EN CIGÜEÑALES**

El aceite que fluye a los cojinetes forma una película entre el muñón del cigüeñal y el cojinete. Durante una operación normal la rotación de muñón del cigüeñal impulsa el aceite que está debajo del muñón entre el muñón y las dos mitades del cojinete, impidiendo el contacto de metal contra metal.



**Figura 32** Película de aceite entre el muñón y los cojinetes

La carencia de lubricación o “agarrotamiento” del aceite permite el contacto de metal contra metal, produce calor debido a la alta fricción y puede ocasionar que los cojinetes de aluminio se agarroten en el eje. En casos extremos, la superficie del cojinete ha llegado a quedar adherida de tal forma que la superficie del cigüeñal quedó destruida por completo.



**Figura 33** Fallas en el cigüeñal. A la izquierda aparece falla por agarrotamiento del aceite, a la derecha aparece falla por rayaduras profundas.

El aceite contaminado puede producir un desgaste excesivo del cigüeñal causado caso siempre por la contaminación de abrasivos incrustados en el cojinete.

#### **9.4 FALLAS EN PISTONES, ANILLOS Y CAMISAS**

Las fallas del pistón relacionadas con el aceite se producen comúnmente por la acción abrasiva del aceite contaminado que desgasta la falda del pistón. Algunas indicaciones son: el color gris opaco de la falda del pistón, las superficies de cromo gastadas en todos los anillos, los rieles del anillo de aceite desgastados, ranuras muy desgastadas y cierto desgaste de la camisa.



**Figura 34** Falda del pistón dañada

El desgaste abrasivo del pistón, que aparece en bandas en la falda del mismo, especialmente en la zona de la perforación del pasador, y con muy poco o ningún desgaste abrasivo en el primer resalto, puede ser producido por la lubricación inadecuada de las camisas de cilindro. La descomposición de la película de aceite puede producir marcas de agarrotamiento.

Los anillos de pistón pueden mostrar desgaste en la ranura del resorte. Es normal cierto desgaste en la ranura del resorte pero si se descuidan los cambios de aceite se producirá el “trabajo” del anillo cuando el resorte quede atrapado en una ranura gastada y no se pueda extender por completo.



**Figura 35** Marcas de agarrotamiento

El daño de las camisas de cilindro puede ser producido por la falta de lubricación o por abrasivo que al pulir la perforación, elimina el dibujo reticular y dejan la superficie brillante y lisa.

## **9.5 FALLAS EN VÁLVULAS**

La mayoría de las fallas de las válvulas relacionadas con el aceite son debidas a la formación de depósitos o al agarrotamiento del aceite.

La causa más común del agarrotamiento del vástago de la válvula es la acumulación de depósitos entre el vástago y la guía. El agarrotamiento resultado indirecto de la acumulación de depósitos debido a contaminación en el aceite. Es decir, por los depósitos acumulados debido a la descomposición de los productos lubricantes en residuos oxidados y los residuos normales generados por el proceso de combustión. La acumulación progresiva de estos depósitos acelera el acampanado de la guía.

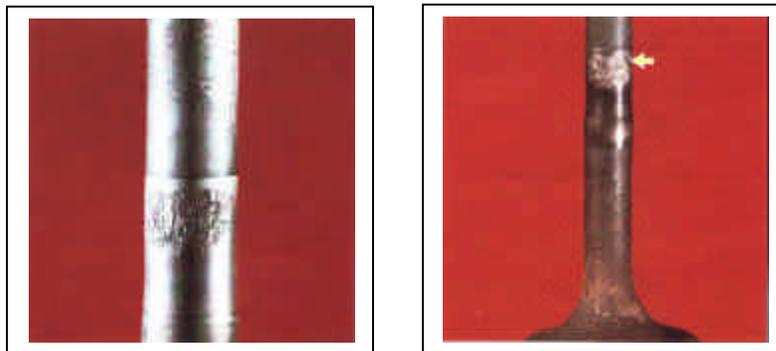


Figura 36 Rayaduras del vástago de la válvula

El rozamiento y/o agarrotamiento del vástago de la válvula también se puede producir por la falta de lubricación de la válvula y la guía de la válvula.

Los depósitos de carbón en los asientos de válvula pueden crear problemas si son excesivos. Hay que lubricar el asiento de válvula y el casquillos en la cabeza para evitar su desgaste prematuro. No obstante, los depósitos en exceso llegan a formar una acumulación de carbón gruesa de asiento de válvula que si se desprende puede permitir fugas del gas de combustión. Estas fugas de gas muy calientes exponen la superficie de la válvula a altas temperaturas, resultando en el agrietamiento o el derretimiento de la válvula.



**Figura 37** Válvula dañada por fuga de gas

Este tipo de falla se puede encontrar en motores Diesel y también en motores a gas. La tendencia del aceite de formar carbón y el nivel de ceniza sulfatada del aceite afectan la formación de carbón en el asiento de válvula.

## **9.6 FALLAS EN TURBOALIMENTADORES**

Los deterioros del turboalimentador relacionados con el aceite lubricante se producen por la contaminación de aceite o la falta del mismo. Si el aceite tiene abrasivos, el desgaste aparece generalmente en varias partes. La contaminación del aceite puede producir erosión en las perforaciones del aceite de las arandelas de tope. Las chumaceras mostrarán casi siempre el deterioro producido por las materias abrasivas. El desgaste por la falta de lubricación probablemente va acompañado por decoloración debida al calor. El metal parece como frotado o raspado. El calor puede producir picaduras, asperezas y en casos severos, la rotura del material.

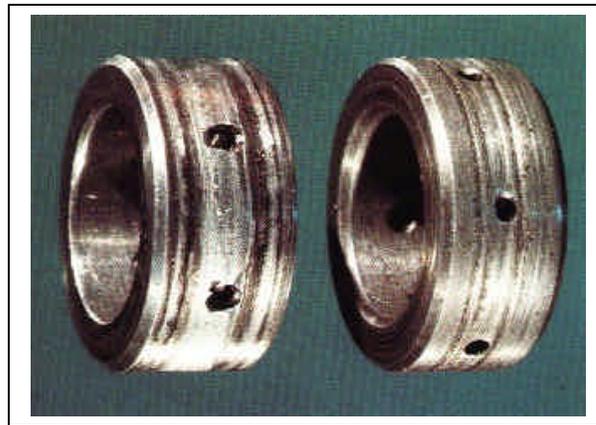


**Figura 38** Rayaduras profundas. También se encuentra deterioro de las perforaciones de aceite del cojinete

El arranque y la parada inadecuada puede agravar las fallas de los cojinetes del turboalimentador. Para evitarlas se debe permitir que el motor se enfríe impidiendo que el aceite entre en ebullición y forme costras en el cojinete del turboalimentador después de una parada “caliente”. Tampoco se debe acelerar el motor en tiempo

frío después del arranque hasta que el aceite se haya calentado y pasado por los filtros. Si se acelera demasiado pronto, el aceite sin filtrar pasará a los cojinetes.

La contaminación rayará y desgastará los cojinetes del turboalimentador siguiendo la misma progresión de deterioro que la producida por la falta de lubricante permitiendo el movimiento del eje y deterioros secundarios, tales como el contacto de la rueda con la caja o un eje doblado o roto. La contaminación también puede obstruir los pasadizos internos de aceite y ocasionar fallas por falta de lubricante.



**Figura 39** Deterioro debido a grandes partículas abrasivas en el aceite. Las ranuras grandes y anchas alrededor de las chumaceras indican que han pasado partículas grande, como virutas de acero, al turboalimentador con el aceite lubricante

El deterioro de los cojinetes del turboalimentador debido a la contaminación o la falta de lubricación permite el movimiento del eje que hace que la rueda del compresor toque su caja. El deterioro típico por contacto producido por el

movimiento del eje estará indicado por el rozamiento de la superficie con algunos de los álabes en el extremo inductor. En la parte posterior de la rueda, a 180° de donde aparece la superficie rozada, habrá señales de contacto con la caja central.

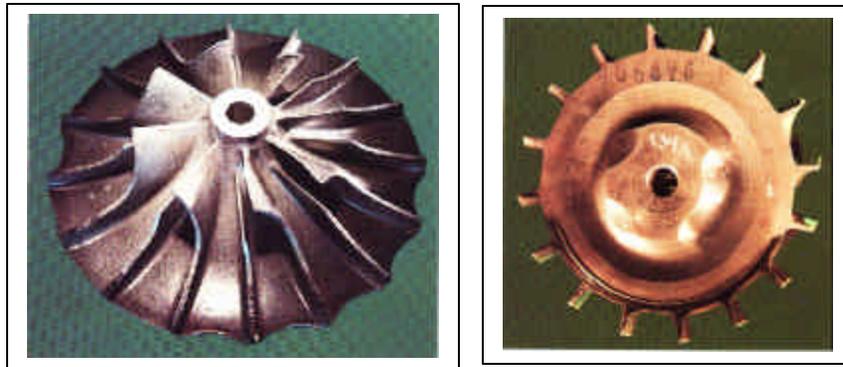


Figura 40 Gráfica de desgaste en turbos. El rozamiento en la superficie delantera y la trasera de la rueda del compresor ha sido causado por el movimiento del eje debido al desequilibrio o a un eje que quedó doblado durante su montaje.

Se puede ver el problema de la falta de lubricación cuando hay una decoloración producida por el calor junto con el deterioro del muñón del cojinete del eje en el extremo de la turbina.

Tanto la falta de lubricante como el aceite contaminado causan el desgaste de los cojinetes de tope haciendo difícil identificar la causa de la falla. Sin embargo, ayuda el observar el estado de la chumacera. La decoloración por el calor de los anillos de tope también señala falta de lubricación. En los turboalimentadores

AiReserarch, es más común ver la deformación del lado interno de los anillos de tope.

En los modelos Schwitzer, la decoloración suele estar confinada a una sola parte de la superficie del anillo. Frecuentemente, también hay marcas de rozamiento. El deterioro aparece en ambos anillos.

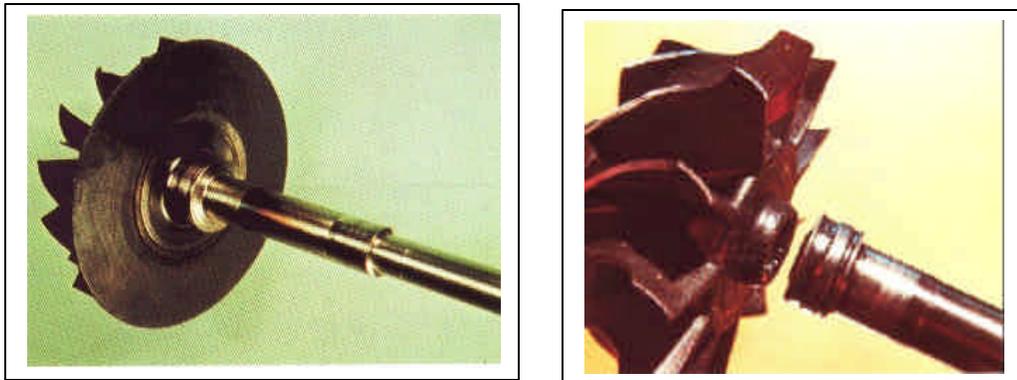
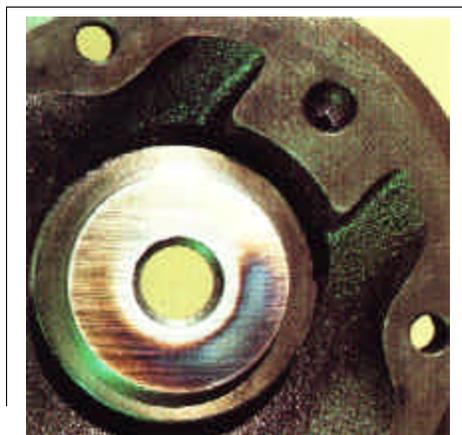


Figura 41 Decoloración en el ejes debido al calor. A la derecha aparece un eje roto por el debilitamiento de la soldadura debido al contacto con la maza de la turbina resultante de la falla de un cojinete de tope

Las rayas finas en ambas chumaceras señalan que el aceite lubricante está contaminado con un material abrasivo.



**Figura 42** Decoloración por el calor en el lado interno del anillo de tope.

## **10. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS**

### **10.1 ANALISIS DEL CAMIÓN 0220338 DE LA FLOTA CATERPILLAR**

A continuación se describe en forma detallada un ejemplo donde se realiza la evaluación completa de un equipo, además se realiza la proyección de vida remanente.

**10.1.1 Fechas de corte.** El primer informe que necesitamos es el que nos permite encontrar los periodos de corte de la vida del motor. Analizaremos la vida del motor instalado en el camión Caterpillar tipo C, el cual se identifica con el número 0220338, donde las primeras cuatro cifras indican que este equipo pertenece a la flota de acarreo y las tres últimas indican el número de identificación.

Cuadro 34 Fechas de PM's

WORK_OR	WO_DESC	EQUI_NO	CLOSED_DT	PM'S
188059	INSPECCION Y SERVICIO 2000 HRS 793C	220338	19990503	ok
190381	CALIBRAR MOTOR 3516 CAMION 793B	220338	19990504	ok
188621	INSPECCION Y SERVICIO 250 HORAS 793C	220338	19990517	ok
189725	INSPECCION Y SERVICIO 500 HORAS 793C	220338	19990530	ok
190938	INSPECCION Y SERVICIO 250 HORAS 793C	220338	19990612	ok
191493	INSPECCION Y SERVICIO 1000 HRS 793C	220338	19990626	pm
193196	INSPECCION Y SERVICIO 250 HORAS 793C	220338	19990710	ok
194355	SEIS DE 250 HRS(PMB) CAT240 SERIE "C"	220338	19990725	ok
194354	SEIS DE 500 HRS(PMC) CAT240 SERIE "C"	220338	19990725	ok
195560	INSPECCION Y SERVICIO 250 HORAS 793C	220338	19990803	ok
194867	SEIS DE 250 HRS(PMB) CAT240 SERIE "C"	220338	19990806	ok
196016	SEIS DE 1000 HRS(PMD) CAT240 SERIE "C"	220338	19990810	pm
195549	SEIS DE 2000 HRS(PME) CAT240 SERIE "C"	220338	19990822	ok
196514	SEIS DE 500 HRS(PMC) CAT240 SERIE "C"	220338	19990822	ok
197767	SEIS DE 250 HRS(PMB) CAT240 SERIE "C"	220338	19990905	ok
198473	SEIS DE 500 HRS(PMC) CAT240 SERIE "C"	220338	19990918	ok
199389	SEIS DE 250 HRS(PMB) CAT240 SERIE "C"	220338	19991003	ok
199858	SEIS DE 250 HRS(PMB) CAT240 SERIE "C"	220338	19991006	ok
200393	SEIS DE 1000 HRS(PMD) CAT240 SERIE "C"	220338	19991019	pm
201273	SEIS DE 250 HRS(PMB) CAT240 SERIE "C"	220338	19991101	ok
203042	CARGAR POR PESO PM 500 HORAS A/A	220338	19991118	ok
202859	SEIS DE 500 HRS(PMC) CAT240 SERIE "C"	220338	19991118	ok
203917	SEIS DE 250 HRS(PMB) CAT240 SERIE "C"	220338	19991201	ok
204045	PM DE 250 HORAS DEL A/A.	220338	19991202	ok
KE023334	SEIS DE 2000 HRS(PME) CAT240 SERIE "C"	220338	19991216	pm
KE023502	SEIS DE 250 HRS(PMB) CAT240 SERIE "C"	220338	19991229	ok
KE023671	SEIS DE 500 HRS(PMC) CAT240 SERIE "C"	220338	20000113	ok
KE023943	SEIS DE 250 HRS(PMB) CAT240 SERIE "C"	220338	20000126	ok
KE024145	SEIS DE 1000 HRS(PMD) CAT240 SERIE "C"	220338	20000208	pm
KE024359	SEIS DE 250 HRS(PMB) CAT240 SERIE "C"	220338	20000221	ok
KE024646	SEIS DE 500 HRS(PMC) CAT240 SERIE "C"	220338	20000305	ok
KE024886	SEIS DE 250 HRS(PMB) CAT240 SERIE "C"	220338	20000317	ok
KE025165	SEIS DE 2000 HRS(PME) CAT240 SERIE "C"	220338	20000331	pm
KE025166	SEIS DE AIRE ACONDICIONADO CAT2402	220338	20000331	ok
KE025416	SEIS DE 250 HRS(PMB) CAT240 SERIE "C"	220338	20000412	ok
KE025417	SEIS DE AIRE ACONDICIONADO CAT2402	220338	20000413	ok
KE025533	SEIS DE 500 HRS(PMC) CAT240 SERIE "C"	220338	20000425	ok
KE025534	SEIS DE AIRE ACONDICIONADO CAT2402	220338	20000425	ok
KE025762	SEIS DE 250 HRS(PMB) CAT240 SERIE "C"	220338	20000507	ok
KE025763	SEIS DE AIRE ACONDICIONADO CAT2402	220338	20000508	ok
KE026017	SEIS DE AIRE ACONDICIONADO CAT2402	220338	20000523	ok
KE026016	SEIS DE 1000 HRS(PMD) CAT240 SERIE "C"	220338	20000523	pm
KE026235	SEIS DE 250 HRS(PMB) CAT240 SERIE "C"	220338	20000605	ok
KE026236	SEIS DE AIRE ACONDICIONADO CAT2402	220338	20000606	ok

KE026494	SEIS DE 500 HRS(PMC) CAT240 SERIE "C"	220338	20000618	ok
KE026495	SEIS DE AIRE ACONDICIONADO CAT2402	220338	20000618	ok
KE026727	SEIS DE 500 HRS(PMC) CAT240 SERIE "C" *	220338	20000701	ok
KE026728	SEIS DE AIRE ACONDICIONADO CAT2402 *	220338	20000701	ok
KE026964	SEIS DE 2000 HRS(PME) CAT240 SERIE "C" *	220338	20000714	pm
KE026965	SEIS DE AIRE ACONDICIONADO CAT2402 *	220338	20000714	ok
KE027208	SEIS DE 250 HRS(PMB) CAT240 SERIE "C"	220338	20000727	ok
KE027437	SEIS DE 500 HRS(PMC) CAT240 SERIE "C"	220338	20000808	ok
KE027597	SEIS DE 250 HRS(PMB) CAT240 SERIE "C"	220338	20000820	ok
KE027598	SEIS DE AIRE ACONDICIONADO CAT2402	220338	20000821	ok
KE027848	SEIS DE 1000 HRS(PMD) CAT240 SERIE "C"	220338	20000903	pm
KE027849	SEIS DE AIRE ACONDICIONADO CAT2402	220338	20000903	ok
KE028076	SEIS DE 250 HRS(PMB) CAT240 SERIE "C"	220338	20000917	ok
KE028077	SEIS DE AIRE ACONDICIONADO CAT2402	220338	20000917	ok
KE028336	SEIS DE 500 HRS(PMC) CAT240 SERIE "C"	220338	20000930	ok
KE028337	SEIS DE A/A REV. CABINA OPERADOR CAT2402	220338	20000930	ok
KE028555	SEIS DE 250 HRS(PMB) CAT240 SERIE "C"	220338	20001012	ok
KE028556	SEIS DE A/A REV. CABINA OPERADOR CAT2402	220338	20001012	ok
KE028865	SEIS DE 2000 HRS(PME) CAT240 SERIE "C"	220338	20001027	pm
KE028866	SEIS DE A/A REV. CABINA OPERADOR CAT2402	220338	20001027	ok
KE029150	SEIS DE 250 HRS(PMB) CAT240 SERIE "C"	220338	20001112	ok
KE029151	SEIS DE A/A REV. CABINA OPERADOR CAT2402	220338	20001112	ok
KE029442	SEIS DE 500 HRS(PMC) CAT240 SERIE "C"	220338	20001125	ok
KE029443	SEIS DE A/A REV. CABINA OPERADOR CAT2402	220338	20001125	ok
KE029718	SEIS DE 250 HRS(PMB) CAT240 SERIE "C"	220338	20001208	ok
KE029719	SEIS DE A/A REV. CABINA OPERADOR CAT2402	220338	20001209	ok
KE029972	SEIS DE 1000 HRS(PMD) CAT240 SERIE "C"	220338	20001222	pm
KE029973	SEIS DE A/A REV. CABINA OPERADOR CAT2402	220338	20001222	ok
KE030162	SEIS DE 250 HRS(PMB) CAT240 SERIE "C"	220338	20010106	ok
230277	SEIS DE 500 HRS(PMC) CAT240 SERIE "C"	220338	20010118	ok
KE030505	SEIS DE 250 HRS(PMB) CAT240 SERIE "C"	220338	20010130	ok
KE030700	SEIS DE 2000 HRS(PME) CAT240 SERIE "C"	220338	20010213	pm
KE030946	SEIS DE 250 HRS(PMB) CAT240 SERIE "B"	220338	20010226	ok
KE031137	SEIS DE 500 HRS(PMC) CAT240 SERIE "B"	220338	20010311	ok
KE031434	SEIS DE 250 HRS(PMB) CAT240 SERIE "C"	220338	20010325	ok

Para nuestro análisis las llamadas fechas de cortes son aquellas que corresponden a las fecha de las casillas que aparecen resaltada en amarillo (closed date), a continuación aparece el listado de estas fechas:

**Cuadro 35** Fechas de corte equipo 338

Equipo	Fechas	Periodo
220338	19990502	instalación
220338	19990626	1
220338	19990810	2
220338	19991019	3
220338	19991216	4
220338	20000208	5
220338	20000331	6
220338	20000523	7
220338	20000714	8
220338	20000903	9
220338	20001027	10
220338	20001222	11
220338	20010213	12
220338	20010403	13

Las celdas que aparecen resaltadas corresponde a la fecha de instalación del equipo y a la fecha en que se evaluó el equipo, con estas fechas de corte procedemos a evaluar las variables que intervienen en el modelo matemático.

### 10.1.2 Análisis de aceite

Cuadro 36. Análisis de aceite camión 338

FECHA	AL	B	C	CR	CU	DI	FE	H2	MO	NA	PB	SI	VI
19990531	3	0,76	0,06	1	211	0	19	0	1	14	17	15	14,77
19990604	4	1,94	0,13	1	33	0	14	0	1	3	2	5	15,01
19990612	1	1,26	0,1	1	51	0	5	0	0	4	5	1	15,16
19990613	0	1,28	0,1	0	55	0	6	0	0	4	4	2	14,98
19990626	0	0,66	0,48	0	85	0	11	0	0	3	8	2	15,09
19990720	2	0,82	0,17	1	101	0	17	0	1	5	6	4	14,95
19990725	4	0,56	0,16	1	157	0	22	0	0	5	5	4	15,11
19990815	0	0,6	0,22	0	84	0	12	0	0	2	3	1	15,24
19990905	2	0,98	0,09	1	29	0	12	0	0	3	3	3	15,02
19990919	3	0,29	0,14	0	33	0	18	0	0	6	1	4	15,09
19990920	0	0,32	0,2	1	36	0	21	0	0	0	3	3	15,12
19990927	2	0,86	0,21	0	10	0	6	0	0	3	1	2	15,16
19991007	1	0,69	0,18	1	12	0	13	0	0	3	2	2	15,07
19991018	2	0,38	0,18	1	15	0	23	0	0	4	4	3	15,11
19991020	3	0,34	0,28	1	16	0	25	0	0	4	4	3	15,19

19991026	1	1,26	0,15	0	6	0	7	0	0	2	0	2	14,98
19991103	1	0,86	0,13	0	7	0	12	0	0	3	0	2	15,09
19991111	3	0,56	0,06	1	9	0	18	0	0	4	3	2	15,02
19991120	2	0,41	0,19	1	11	0	25	0	0	3	4	1	15,18
19991123	0	1,34	0,12	1	3	0	6	0	0	3	1	1	15,08
19991203	1	0,64	0,14	1	5	0	12	0	0	3	1	1	15,21
19991217	2	0,31	0,41	1	8	0	28	0	0	3	5	2	15,18
19991226	1,136	1,22	0,1	0,669	3,8	0	12	0	0,1	2,47	1,17	1,61	15,09
20000108	0,327	0,53	0,29	0,38	5,4	0	23	0	0,1	2,79	1,63	0,93	15,18
20000114	2,34	0,388	0,32	1,03	7,26	0	33	0	0,1	2,43	5,36	1,76	15,12
20000119	1,838	1,479	0,1	0,626	2,26	0	10	0	0,1	1,71	1,48	1,97	15,16
20000128	1,278	0,975	0,4	0,475	3,53	0	11	0	0,1	2,57	2,91	1,4	15,05
20000204	0,939	0,687	0,25	0,694	4,23	0	16	0	0,1	2,47	2,41	1,27	15,76
20000209	0,874	0,536	0,3	0,893	5,82	0	24	0	0,1	2,65	4,66	1,93	15,38
20000216	1,201	1,905	0,14	0,258	1,83	0	7	0	0,1	2,57	2,03	2,32	15,17
20000222	1,593	0,699	0,18	0,998	2,61	0	13	0	0,1	3,04	2,03	1,72	15,16
20000307	1,916	0,372	0,18	0,84	5,66	0	31	0	0,1	2,77	4,59	1,42	15,38
20000312	0,212	1,103	0,16	0,198	2,48	0	9	0	0,1	1,94	1,74	1,65	15,11
20000319	2,074	0,811	0,16	0,515	3,48	0	19	0	0,1	2,55	1,4	1,77	15,09
20000401	2,513	0,388	0,28	0,84	5,98	0	32	0	0,12	3,22	4,19	3,28	15,12
20000414	2,45	0,736	0,22	0,765	5,09	0	21	0	0,25	2,35	2,56	2,47	15,19
20000415	2,441	0,733	0,19	0,602	5,17	0	22	0	0,1	2,34	1,45	2,45	15,19
20000425	1,819	0,36	0,23	0,93	8,5	0	34	0	0,23	2,92	4,55	2,29	15,13
20000508	2,852	1,146	0,23	0,524	5,1	0	25	0	0,3	2,97	2,39	2,57	15,12
20000521	2,638	0,422	0,19	0,804	8,58	0	42	0	0,1	4,61	5,66	3,2	15,72
20000523	2,246	0,44	0,35	1,136	9,45	0	55	0	0,32	1,9	6,96	3,77	15,32
20000527	0,862	1,186	0,1	0,823	3,03	0	14	0	0,36	1,02	2,23	1,91	14,88
20000601	2,239	0,894	0,25	0,669	3,79	0	19	0	0,1	1,99	2,07	2,38	15,22
20000609	1,744	0,631	0,19	0,915	5,63	0	33	0	0,21	1,17	3,93	1,92	15,98
20000617	3,253	0,823	0,2	1,437	7,3	0	44	0	0,69	3,33	7,69	3,66	15,26
20000619	3,08	0,748	0,17	1,258	7,68	0	45	0	0,27	3,28	6,74	3,59	15,3
20000627	2,449	0,994	0,18	0,777	4,8	0	20	0	0,1	2,58	1,75	2,68	15,25
20000701	2,882	0,706	0,16	0,635	6,59	0	28	0	0,1	2,62	3,77	2,74	15,84
20000711	2,054	0,954	0,13	0,63	4,83	0	18	0	0,1	2,4	1,47	2,46	15,32
20000714	1,978	0,845	0,12	0,607	5,38	0	25	0	0,1	3,97	1,18	3	15,77
20000721	3,182	1,227	0,16	0,828	4,8	0	20	0	0,41	3,02	2,3	3,86	15,64
20000729	3,235	0,907	0,19	0,567	5,4	0	25	0	0,28	5,75	2,11	3,35	15,25
20000809	4,198	0,502	0,22	1,011	8,44	0	49	0	0,42	3,61	4,92	4,15	15,59
20000815	2,459	1,144	0,15	0,607	3,56	0	18	0	0,36	2,57	2,56	3,44	15,24
20000827	3,394	0,443	0,17	0,991	5,62	0	27	0	0,7	2,67	4,98	0,72	15,22
20000828	3,29	0,667	0,17	1,033	6,21	0	46	0	0,47	2,66	4,93	4,18	15,36
20000903	4,543	0,506	0,19	1,152	9,86	0	63	0	0,23	4,82	6,72	5,53	15,71
20000910	1,888	1,124	0,17	0,222	3,82	0	20	0	0,1	1,96	1,33	1,84	15,43
20000918	2,074	0,796	0,32	0,477	5,74	0	32	0	0,1	2,49	2,48	2,78	15,66
20000930	3,902	0,423	0,4	1,179	9,13	0	42	0	0,53	3,24	6,66	4,29	15,63
20001111	4,305	0,545	0,2	0,705	7,45	0	19	0	0,46	4,24	3,21	3,48	15,97
20001122	3,704	0,522	0,25	1,373	10,13	0	32	0	0,62	3,05	5,04	3,54	15,91

20001125	6,854	0,424	0,44	1,711	12,1	0	39	0	0,68	2,74	6,93	3,34	16,07
20001206	3,049	0,63	0,15	0,807	4,55	0	23	0	0,1	3,49	2,2	3,69	15,98
20001209	3,768	0,674	0,24	0,812	4,23	0	19	0	0,1	7,63	2,96	4,68	15,87
20001222	3,226	0,728	0,31	0,978	5,45	0	31	0	0,1	2,6	3,89	4,53	16,24
20001223	5,108	0,728	0,2	1,212	5,79	0	37	0	0,3	4,95	5,03	7,57	15,92
20010102	2,54	1,469	0,31	0,423	3,33	0	17	0	0,1	2,36	1,76	4,62	15,69
20010106	2,751	1,171	0,3	0,58	3,75	0	23	0	0,1	2,25	1,89	4,9	16,01
20010115	3,156	0,902	0,23	0,439	4,74	0	23	0	0,1	2,71	3,89	3,12	15,35
20010207	2,208	0,978	0,22	0,336	4,12	0	14	0	0,1	2,5	0,74	3,15	15,92
20010213	4,132	0,769	0,13	0,826	4,61	0	20	0	0,25	3,25	1,84	6,81	15,55
20010225	0,294	1,235	0,16	0,365	2,49	0	16	0	0,1	2,77	0,67	3,08	15,58
20010228	0,819	1,109	0,31	0,591	3,08	0	12	0	0,57	2,04	1,32	4,07	15,83
20010313	0,865	1,079	0,22	0,959	3,92	0	11	0	1,35	2,21	2,54	3,46	15,45
20010327	2,768	0,991	0,4	1,053	7,61	0	25	0	0,31	2,67	6,41	4,26	15,59

En verde aparecen resaltados los valores que sobrepasan los límites permisibles, recordemos que aquí se evalúan tres condiciones, la presente, la histórica y la combinatoria, teniendo en cuenta las fechas de corte, tendremos las siguientes calificaciones:

Cuadro 37 Calificación de los análisis de aceite

Periodo	ICH	ICP	IC	ICA
1	5,822	4,933	2,00	0,327
2	5,647	6,335	2,50	0,371
3	3,452	3,832	0,00	0,187
4	3,294	2,756	0,00	0,155
5	3,575	3,205	0,50	0,187
6	3,394	3,267	0,50	0,184
7	4,025	5,126	2,00	0,286
8	3,995	3,627	1,00	0,221
9	4,424	5,923	2,50	0,329
10	3,754	5,501	2,00	0,289
11	4,795	4,697	1,50	0,282
12	4,443	4,348	1,50	0,264
13	3,551	5,142	2,50	0,287

Donde la columna ICA corresponde a la evaluación del índice de condición de aceite para cada periodo.

### 10.1.3 Repuestos

Cuadro 38. Repuestos camión 338

FECHA	DESPA	SCO	DESC1	EQU	WO	UNITAR	VALOR
19990530	1	18580	FILTRO LUBRICANTE	220338	CON99CT2	13,8579	13,8579
19990530	1	18580	FILTRO LUBRICANTE	220338	CON99CT2	13,8579	13,8579
19990602	4	18580	FILTRO LUBRICANTE	220338	190422	13,8579	55,4316
19991107	2	504381	ELEMENTO FILTRO HIDRAULICO	220338	202026	8,7755	17,551
19991111	2	1610344	LLANTA 40.00R 57 XKD1 C4** (E4)	220338	KT039474	14956,484	29912,968
19991116	1	2060556	ELEMENTO DE FIELTRO HUMEDECIDO EN ANTI-	220338	202666	0,11	0,11
19991116	1	2060556	ELEMENTO DE FIELTRO HUMEDECIDO EN ANTI-	220338	202666	0,11	0,11
19991116	1	1903855	TERMINAL POSITIVO DE BATERIA EN BRONCE	220338	202666	5,632	5,632
20000221	2	1743426	FILTRO DE COMBUSTIBLE	220338	KE024359	28,2368	56,4736
20000221	1	622621	ADAPTADOR PARA CUBIERTA PROTECTORA DEL	220338	KE024359	15,77	15,77
20000302	3	134346	ACCESORIO PARA LINEA DE ENGRASE,	220338	RH026563	0,5392	1,6176
20000302	1	1883750	SELLO	220338	RH026563	97,82	97,82
20000424	8	504381	ELEMENTO FILTRO HIDRAULICO	220338	KE025533	8,8072	70,4576
20000424	1	1813153	FILTRO	220338	KE025533	13,211	13,211
20000507	2	1743426	FILTRO DE COMBUSTIBLE	220338	KE025762	28,2955	56,591
20000507	1	1754811	BOTELLA	220338	KE025762	1,35	1,35
20000508	6	1269091	SELLO DE CAUCHO VULCANIZADO PARA PUERTA	220338	KE025762	9,6377	57,8262
20000508	1	1896182	REJILLA DEL AIRE ACONDICIONADO	220338	KE025763	24,301	24,301
20000515	1	1808724	SENSOR DE TEMPERATURA DE ACEITE	220338	214571	82,6917	82,6917
20000515	1	5348	SELLO PARA ACOPLA ROSCADO	220338	214571	0,3996	0,3996
20000517	1	1167907	ARANDELA DE COBRE CIRCULAR 1/16"	220338	KE025427	1,3639	1,3639
20000715	2	1605435	SELLO DEL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO	220338	KE026965	1,2896	2,5792
20000727	150	179879	CAUCHO SUPER 60.	220338	KT042618	3,4571	518,565
20000727	15	1263573	PARCHE HC-56	220338	KT042618	29,5629	443,4435
20000727	10	1263565	PARCHE HC-52	220338	KT042618	19,83	198,3
20000727	10	1263581	PARCHE HC-60	220338	KT042618	53,04	530,4
20000728	1	1754811	BOTELLA	220338	KE027208	1,3373	1,3373
20000808	1	1813153	FILTRO	220338	KE027437	13,4255	13,4255
20000808	1	1896034	ELEMENTO PARA FILTRO HIDRAULICO	220338	KE027437	7,927	7,927
20000808	1	1754811	BOTELLA	220338	KE027437	1,3373	1,3373
20001222	1	134569	SELLO ANILLO EN "O" DE CAUCHO.	220338	228783	1,952	1,952
20001222	1	1881705	ANILLO SELLADOR	220338	228783	1,953	1,953
20001222	1	1907914	BOMBA PRINCIPAL SISTEMA ENFRIAMIENTO	220338	228783	930,9588	930,9588
20001222	1	1847979	MANGUERA	220338	228783	23,3569	23,3569
20010105	4	480210	SELLO BUNA	220338	KE029885	1,8239	7,2956
20010105	6	5348	SELLO PARA ACOPLA ROSCADO	220338	KE029885	0,3869	2,3214

20010105	1	1749225	ADAPTADOR	220338	KE029885	6,645	6,645
20010105	2	1743426	FILTRO DE COMBUSTIBLE	220338	KE030162	28,6836	57,3672
20010117	1	1097047	VALVULA COMPLETA DEL FRENO FRONTAL PARA	220338	KE029610	56,7467	56,7467
20010117	4	18580	FILTRO LUBRICANTE	220338	230277	13,5736	54,2944
20010117	8	504381	ELEMENTO FILTRO HIDRAULICO	220338	230277	8,5438	68,3504
20010117	2	1743426	FILTRO DE COMBUSTIBLE	220338	230277	28,9737	57,9474
20010201	1	1848357	MANGUERA	220338	231345	247,906	247,906
20010206	1	549576	CARTUCHO ACCIONADOR LT-5R, ROSCA DERECHA	220338	231345	19,1181	19,1181
20010208	1	1884378	SENSOR PRESION ATMOSFERICA	220338	231810	135,3078	135,3078
20010211	2	1896067	ACEITE P/COMPRESOR AA/*NAS #3-037-049	220338	231913	17,2758	34,5516
20010214	2	2060556	ELEMENTO DE FIELTRO HUMEDECIDO EN ANTI-	220338	KE029610	0,185	0,37
20010225	4	18580	FILTRO LUBRICANTE	220338	KE030946	13,5917	54,3668
20010225	2	1743426	FILTRO DE COMBUSTIBLE	220338	KE030946	28,5856	57,1712
20010227	1	1607233	LLANTA 40.00R57 XDRB MICHELIN	220338	KT045208	14957,86	14957,86
20010227	1	1607233	LLANTA 40.00R57 XDRB MICHELIN	220338	KT045208	14957,86	14957,86
20010302	1	1849181	MANGUERA	220338	233212	163,8688	163,8688
20010302	2	480210	SELLO BUNA	220338	233212	1,8211	3,6422
20010305	1	519090	ANILLO EN "O" DE CAUCHO	220338	KE029615	11,3918	11,3918
20010307	4	1612910	FILTRO	220338	FILTR338	6,9594	27,8376
20010311	1	1812627	ELEMENTO	220338	KE031137	28,7521	28,7521
20010311	1	1813153	FILTRO	220338	KE031137	12,9041	12,9041
20010311	1	1896034	ELEMENTO PARA FILTRO HIDRAULICO	220338	KE031137	7,6357	7,6357
20010311	1	1813039	FILTRO	220338	KE031137	5,7223	5,7223

Revisando el listado de stock code de motores Caterpillar tipo C (Anexo A) y comparándolo con el listado de repuestos suministrados, observamos que aparece un solo elemento en el listado de repuestos y está ubicado dentro de los repuestos de nivel medio, nótese que la fecha de despacho es 20001222, la cual se encuentra comprendida entre las fechas 20001027 y 20001222, lo que indica que la calificación de este repuesto se encontrará en el periodo número once (11) de calificación. A continuación se lista la calificación de esta variable para todos los periodos.

Cuadro 39. Resumen calificación repuestos

Periodo	Equipo	Calificación
1	220338	0

2	220338	0
3	220338	0
4	220338	0
5	220338	0
6	220338	0
7	220338	0
8	220338	0
9	220338	0
10	220338	0
11	220338	0,05
12	220338	0
13	220338	0

## 10.1.4 ANÁLISIS DE ORDENES DE TRABAJO

Cuadro 40. Ordenes de trabajo

WORK_OR	WO_DESC	EQUIPO	CLOSED_DT	WO_JO	WO_JO	WO_JO	WO_JO	WO_JO	WO_JO	COMP_CODE
				B_COD	B_CODE	B_CODE	B_CODE	B_CODE	B_CODE	
				EX1	X3	X4	X5	X6	X7	
188076	CAMBIAR HARNESS DEL MOTOR	220338	19990504	92	CAMB	ALARM				MOTR
190381	CALIBRAR MOTOR 3516 CAMION 793B	220338	19990504	4	CAL	DESCA		FMECA		MOTR
189252	SIN POTENCIA	220338	19990518	25	CAMB	PEGAD	FAT		VALVC	MOTR
189618	INSTALAR COCA CAJA FILTRO AIRE	220338	19990523	528	INST	CAIDO				MOTR
190422	DIAGNOSTICAR SISTEMA POTENCIA 793C	220338	19990602		REV	FLOJO	ALTSI		ABRAZ	MOTR
191318	REVISAR MOTOR POR ALTO CONTENIDO Si	220338	19990612	ACONT	REV			FMECA		MOTR
210924	REPARAR FUGA DE REFRIGERANTE	220338	20000322	32	REP	FUGA				MOTR
KE025183	CALIBRAR MOTOR..4000 HORAS.	220338	20000331	505	CAL	DESCA		FMECA		MOTR
225287	CAMBIAR SENSOR TEMP. ESCAPE RH	220338	20001029	92	CAMB	DANO			SENS	MOTR
225312	BAJA POTENCIA/ALARMA SALIDA TURBO	220338	20001029	25	REV	DANO			CABL	MOTR
228783	CAMBIAR B/BA REFRIGERANTE P/PAL FUGA	220338	20001222	32	CAMB	DANO	FUGA		BOMAG	MOTR
KE030195	Revisar entrada de tierra (si=10)	220338	20010106	296	REV	CONT		FMECA		MOTR
KE029615	REALIZAR "PEENING" AL MOTOR. -GECOLSA-	220338	20010305	505	REP	INPR	POSPM			MOTR
FILTR338	CAMBIAR FILTROS DE AIRE	220338	20010312	AREF	CAMB	TAPAD	OBSTR	CONT	FILT	MOTR
234984	CAMBIAR FILTROS DE ACEITE MOTOR	220338	20010401	92	CAMB	TAPAD	CONT		FILT	MOTR

En las ordenes de trabajo se filtran aquellas que solo estén relacionadas con el motor, revisando los códigos en las ordenes de trabajo tenemos las siguientes calificaciones:

Cuadro 41. Resultados de las ordenes de trabajo

Periodo	Equipo	Calificación OT's
1	220338	0,20
2	220338	0,00
3	220338	0,00
4	220338	0,00
5	220338	0,00
6	220338	0,05
7	220338	0,00
8	220338	0,00
9	220338	0,00
10	220338	0,00
11	220338	0,05
12	220338	0,20
13	220338	0,20

### 10.1.5 Consumo de aceite

Cuadro 42. suministros de aceite lubricante, se lista de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha.

Columna 1

continuación

CAMION	FECHA	HOROM	CANT	TIPO
220338	19990503	12087,15	78	X15W40
220338	19990503	12087,15	39	X15W40
220338	19990503	12087,15	20	X15W40
220338	19990510	12214,84	39	X15W40
220338	19990510	12214,84	20	X15W40
220338	19990510	12214,84	2	X15W40
220338	19990522	12461,78	12	X15W40
220338	19990530	12630,05	73,1	X15W40
220338	19990601	12669,01	74,6	X15W40
220338	19990605	12752,12	31,5	X15W40
220338	19990625	13170,6	73,8	X15W40
220338	19990628	13217,36	3	X15W40
220338	19990720	13685,1	5	X15W40
220338	19990724	13766,98	77	X15W40
220338	19990726	13809,56	6	15W40T
220338	19990806	14038,42	7	X15W40
220338	19990822	14344,65	71,1	X15W40
220338	19990822	14344,65	33	X15W40
220338	19990904	14610,51	8,4	X15W40

CAMION	FECHA	HOROM	CANT	TIPO
220338	20000826	21602,55	5	X15W40
220338	20000826	21602,55	12,8	X15W40
220338	20000903	21748,47	75	X15W40
220338	20000903	21748,47	15	X15W40
220338	20000917	22018,35	7	X15W40
220338	20000926	22204,1	7	X15W40
220338	20000930	22279,87	70	X15W40
220338	20000930	22279,87	70	X15W40
220338	20000930	22279,87	3,3	X15W40
220338	20001027	22785,19	75	X15W40
220338	20001028	22788,59	1,5	X15W40
220338	20001112	23043,25	9,4	X15W40
220338	20001125	23300,03	75	X15W40
220338	20001206	23513,79	16,3	X15W40
220338	20001208	23557,46	10	X15W40
220338	20001209	23575,73	3	X15W40
220338	20001213	23664	7	X15W40
220338	20001216	23726,93	22,2	X15W40
220338	20001217	23740,47	3	X15W40

220338	19990918	14890,43	72,9	X15W40
220338	19991006	15184,35	5,8	X15W40
220338	19991006	15184,35	-5,8	X15W40
220338	19991006	15184,35	5,8	X15W40
220338	19991118	15957,27	73	X15W40
220338	19991202	16243,81	5	SAE40
220338	19991210	16384,25	25	X15W40
220338	19991213	16429,76	25	X15W40
220338	19991216	16465,21	111,7	X15W40
220338	20000113	16993,14	75,4	X15W40
220338	20000127	17273,7	10	X15W40
220338	20000208	17515,36	76	X15W40
220338	20000208	17515,36	10	X15W40
220338	20000208	17515,36	10	X15W40
220338	20000208	17515,36	76	X15W40
220338	20000208	17515,36	-10	X15W40
220338	20000208	17515,36	-76	X15W40
220338	20000209	17536,13	76	X15W40
220338	20000209	17536,13	2,4	X15W40
220338	20000209	17536,13	2,4	X15W40
220338	20000209	17536,13	-2,4	X15W40
220338	20000225	17868,12	10	X15W40
220338	20000225	17868,12	2,4	X15W40
220338	20000229	17956,59	-2,4	X15W40
220338	20000229	17956,59	10	X15W40
220338	20000323	18436,58	-10	X15W40
220338	20000323	18436,58	-76	X15W40
220338	20000324	18457,26	3,7	X15W40
220338	20000331	18591,66	76	X15W40
220338	20000331	18591,66	26	X15W40
220338	20000425	19122,94	73,1	X15W40
220338	20000517	19542,5	8	SAE40
220338	20000523	19656,07	75	X15W40
220338	20000605	19929,71	10,3	X15W40
220338	20000615	20146,37	16,4	X15W40
220338	20000618	20203,82	76	X15W40
220338	20000701	20468,72	71,7	X15W40
220338	20000712	20696,95	7	X15W40
220338	20000714	20723,84	72	X15W40
220338	20000714	20723,84	33,8	X15W40
220338	20000725	20934,26	22,3	X15W40
220338	20000728	20996,5	3,3	X15W40
220338	20000808	21222,08	75,1	X15W40

220338	20001220	23791,1	11,5	X15W40
220338	20001220	23791,1	14	X15W40
220338	20001223	23843,34	73,5	X15W40
220338	20001223	23843,34	4,1	X15W40
220338	20001230	23976,86	14,4	X15W40
220338	20001230	23976,86	15,3	X15W40
220338	20010111	24188,63	21	X15W40
220338	20010117	24314,29	22	X15W40
220338	20010118	24335,13	74,4	X15W40
220338	20010121	24398,76	7	X15W40
220338	20010125	24481,57	25,4	X15W40
220338	20010129	24567,9	21,4	X15W40
220338	20010203	24665,94	16	X15W40
220338	20010206	24727,47	24,2	X15W40
220338	20010207	24747,74	3	X15W40
220338	20010209	24780,79	18,1	X15W40
220338	20010211	24817,77	6,8	X15W40
220338	20010213	24839,08	76	X15W40
220338	20010213	24839,08	22	X15W40
220338	20010214	24860,09	40,2	X15W40
220338	20010214	24860,09	21	X15W40
220338	20010217	24922,21	22,5	X15W40
220338	20010220	24983,33	19	X15W40
220338	20010226	25097,45	21	X15W40
220338	20010226	25097,45	5	X15W40
220338	20010302	25176,13	25,5	X15W40
220338	20010302	25176,13	13	X15W40
220338	20010304	25190,66	70,6	X15W40
220338	20010304	25190,66	22,9	X15W40
220338	20010304	25190,66	19,6	X15W40
220338	20010309	25296,25	10	X15W40
220338	20010311	25337,91	78	X15W40
220338	20010311	25337,91	19,4	X15W40
220338	20010315	25419,24	5,2	X15W40
220338	20010316	25436,77	10,5	X15W40
220338	20010317	25454,01	10,1	X15W40
220338	20010320	25508,83	16,5	X15W40
220338	20010324	25586,9	29	X15W40
220338	20010325	25604,89	16,8	X15W40
220338	20010326	25626,48	5	X15W40
220338	20010328	25666,26	5,8	X15W40
220338	20010330	25706,11	33	X15W40
220338	20010401	25735,55	14,2	X15W40

Cuadro 43. Calificación del consumo de aceite

Periodo	Suministro	Hrs acumuladas	Hrs Op	Consumo	CA
1	54	1071,2	1071,2	0,0504	0,00
2	21	1983,4	912,3	0,0230	0,00
3	14,2	3325,0	1341,6	0,0106	0,00
4	5	4336,2	1011,2	0,0049	0,00
5	20	5395,4	1059,2	0,0189	0,00
6	16,1	6471,7	1076,3	0,0150	0,00
7	8	7536,1	1064,4	0,0075	0,00
8	33,7	8603,9	1067,8	0,0316	0,00
9	36,1	9623,1	1019,2	0,0354	0,00
10	17,3	10662,6	1039,5	0,0166	0,00
11	75,7	11688,2	1025,6	0,0738	0,07
12	84,7	12719,1	1031,0	0,0822	0,07
13	170,1	13615,6	896,5	0,1897	0,07

Esta es la calificación para cada uno de los periodos, notamos que en los últimos tres periodos el consumo ha excedido el máximo valor permitido

### 10.1.6 Consumo de combustible

Cuadro 44 Suministro de combustible del camión 338

CAMION	FECHA	Hr	CANT	TIPO
220338	19990505	12119,94	912	ACPM
220338	19990506	12140,17	977	ACPM
220338	19990508	12182,95	915,4	ACPM
220338	19990509	12197,49	944	ACPM
220338	19990510	12214,84	769	ACPM
220338	19990512	12253,37	970,9	ACPM
220338	19990513	12275,24	936	ACPM
220338	19990514	12296,07	926	ACPM
220338	19990516	12338,63	1001	ACPM
220338	19990517	12358,45	971	ACPM
220338	19990518	12376,66	971	ACPM
220338	19990518	12376,66	918,1	ACPM
220338	19990519	12399	934,6	ACPM
220338	19990520	12420,46	940,3	ACPM
220338	19990521	12441,43	958,6	ACPM
220338	19990522	12461,78	933	ACPM
220338	19990523	12484,05	933	ACPM
220338	19990524	12504,66	966,6	ACPM
220338	19990525	12526,47	942,7	ACPM
220338	19990526	12547,04	957	ACPM
220338	19990527	12568,7	837	ACPM

CAMION	FECHA	Hr	CANT	TIPO
220338	20000401	18614,3	840	ACPM
220338	20000402	18636,74	957	ACPM
220338	20000403	18659,4	861,4	ACPM
220338	20000404	18682	813	ACPM
220338	20000405	18703,62	916,3	ACPM
220338	20000406	18725,43	874,7	ACPM
220338	20000408	18762,69	910,4	ACPM
220338	20000409	18784,88	930	ACPM
220338	20000410	18806,55	878,2	ACPM
220338	20000411	18828,46	929,3	ACPM
220338	20000412	18849,53	990,1	ACPM
220338	20000413	18869,99	909,6	ACPM
220338	20000414	18891,97	939	ACPM
220338	20000415	18913,69	947,4	ACPM
220338	20000416	18936,11	967,2	ACPM
220338	20000417	18953,94	971,8	ACPM
220338	20000419	18994,9	895,3	ACPM
220338	20000420	19016,22	978,8	ACPM
220338	20000421	19036,64	920,9	ACPM
220338	20000422	19058,87	948,9	ACPM
220338	20000423	19080,75	936	ACPM

220338	19990528	12589,86	939	ACPM
220338	19990529	12611,49	919	ACPM
220338	19990531	12651,01	942	ACPM
220338	19990531	12651,01	933	ACPM
220338	19990601	12669,01	857,9	ACPM
220338	19990602	12690,44	940	ACPM
220338	19990603	12713,12	940	ACPM
220338	19990603	12713,12	944	ACPM
220338	19990604	12734,54	902	ACPM
220338	19990605	12752,12	832,9	ACPM
220338	19990606	12773,87	964	ACPM
220338	19990608	12816,9	832,9	ACPM
220338	19990608	12816,9	964	ACPM
220338	19990608	12816,9	969	ACPM
220338	19990609	12838,38	904	ACPM
220338	19990610	12860,06	958	ACPM
220338	19990611	12881,71	950	ACPM
220338	19990613	12916,09	968	ACPM
220338	19990614	12935,82	939,5	ACPM
220338	19990615	12957,76	930	ACPM
220338	19990616	12979,51	984,3	ACPM
220338	19990617	13001,48	871	ACPM
220338	19990618	13022,86	979	ACPM
220338	19990619	13044	935	ACPM
220338	19990620	13066,56	945	ACPM
220338	19990621	13088,37	910	ACPM
220338	19990622	13110,26	970,4	ACPM
220338	19990623	13131,98	970,4	ACPM
220338	19990624	13152,94	977	ACPM
220338	19990625	13170,6	932	ACPM
220338	19990626	13191,09	956	ACPM
220338	19990628	13217,36	890	ACPM
220338	19990629	13239,14	890	ACPM
220338	19990629	13239,14	957	ACPM
220338	19990630	13260,59	955,4	ACPM
220338	19990702	13304,45	978	ACPM
220338	19990703	13325,22	965	ACPM
220338	19990704	13346,81	904	ACPM
220338	19990705	13369,16	912	ACPM
220338	19990706	13391,26	938	ACPM
220338	19990707	13412,05	900	ACPM
220338	19990709	13451,42	966,7	ACPM
220338	19990710	13472,5	985	ACPM
220338	19990711	13494,55	925,2	ACPM
220338	19990712	13516,3	667	ACPM
220338	19990713	13533,06	941	ACPM
220338	19990714	13554,78	969	ACPM

220338	20000424	19102,49	902,1	ACPM
220338	20000425	19122,94	947,4	ACPM
220338	20000426	19145,31	976	ACPM
220338	20000427	19167,3	976	ACPM
220338	20000428	19189,68	889,6	ACPM
220338	20000429	19211,72	926,5	ACPM
220338	20000430	19234,53	934,4	ACPM
220338	20000502	19278,29	973	ACPM
220338	20000503	19299,41	993	ACPM
220338	20000504	19319,75	861	ACPM
220338	20000505	19341,44	918,7	ACPM
220338	20000506	19363,69	945,7	ACPM
220338	20000507	19385,55	942	ACPM
220338	20000508	19404,72	860,1	ACPM
220338	20000509	19425,01	973	ACPM
220338	20000510	19446,01	992	ACPM
220338	20000512	19468,16	916	ACPM
220338	20000514	19496,58	952	ACPM
220338	20000516	19532,76	929,4	ACPM
220338	20000517	19542,5	509	ACPM
220338	20000518	19562,99	969	ACPM
220338	20000519	19584,6	1008	ACPM
220338	20000520	19607,61	951	ACPM
220338	20000521	19630,01	980,1	ACPM
220338	20000522	19647,34	941,9	ACPM
220338	20000523	19656,07	954,2	ACPM
220338	20000525	19699,6	958,8	ACPM
220338	20000526	19721,27	965,6	ACPM
220338	20000527	19742,7	986,3	ACPM
220338	20000528	19764,5	984,7	ACPM
220338	20000529	19786,74	951,1	ACPM
220338	20000530	19805,19	933,6	ACPM
220338	20000531	19826,9	961	ACPM
220338	20000601	19848,71	1005,7	ACPM
220338	20000602	19866,23	928,5	ACPM
220338	20000603	19887,8	981,6	ACPM
220338	20000604	19908,23	986,8	ACPM
220338	20000605	19929,71	885	ACPM
220338	20000606	19951,84	942,3	ACPM
220338	20000607	19973,14	973,5	ACPM
220338	20000608	19994,39	913,4	ACPM
220338	20000609	20016,48	957,1	ACPM
220338	20000610	20038,19	993,6	ACPM
220338	20000610	20038,19	960,9	ACPM
220338	20000611	20060,13	945,9	ACPM
220338	20000612	20082,22	936,8	ACPM
220338	20000613	20103,55	986,1	ACPM

220338	19990715	13576,56	936,4	ACPM
220338	19990716	13598,21	967,6	ACPM
220338	19990717	13620,35	912,6	ACPM
220338	19990718	13642,06	944	ACPM
220338	19990720	13685,1	960	ACPM
220338	19990721	13706,97	957	ACPM
220338	19990721	13706,97	978	ACPM
220338	19990721	13706,97	897	ACPM
220338	19990722	13728,06	908,2	ACPM
220338	19990723	13748,46	913	ACPM
220338	19990724	13766,98	986,5	ACPM
220338	19990725	13788,57	918	ACPM
220338	19990726	13809,56	925,2	ACPM
220338	19990726	13809,56	944	ACPM
220338	19990726	13809,56	897	ACPM
220338	19990726	13809,56	913	ACPM
220338	19990726	13809,56	968,5	ACPM
220338	19990728	13850,47	968,5	ACPM
220338	19990728	13850,47	963	ACPM
220338	19990729	13872,56	929,7	ACPM
220338	19990730	13894,33	948,4	ACPM
220338	19990731	13914,38	893,4	ACPM
220338	19990801	13935,8	991,4	ACPM
220338	19990803	13978,57	997,3	ACPM
220338	19990804	13998,29	904,5	ACPM
220338	19990805	14020,76	877,3	ACPM
220338	19990806	14038,42	911	ACPM
220338	19990807	14060,22	952,2	ACPM
220338	19990808	14082,21	915	ACPM
220338	19990809	14103,36	954	ACPM
220338	19990811	14147,31	978,9	ACPM
220338	19990812	14168,16	726	ACPM
220338	19990813	14189,56	967	ACPM
220338	19990814	14210,5	877,3	ACPM
220338	19990815	14230,57	775	ACPM
220338	19990816	14252,61	927,3	ACPM
220338	19990817	14274,07	950	ACPM
220338	19990818	14291,88	726	ACPM
220338	19990819	14306,91	973,3	ACPM
220338	19990820	14319,3	866,6	ACPM
220338	19990822	14344,65	966	ACPM
220338	19990824	14385,83	924,8	ACPM
220338	19990825	14407,8	945,1	ACPM
220338	19990825	14407,8	-945,1	ACPM
220338	19990825	14407,8	945,1	ACPM
220338	19990826	14428,82	916	ACPM
220338	19990826	14428,82	-916	ACPM

220338	20000614	20125,5	913,4	ACPM
220338	20000614	20125,5	913,4	ACPM
220338	20000614	20125,5	919,3	ACPM
220338	20000615	20146,37	963,4	ACPM
220338	20000617	20186,14	1000	ACPM
220338	20000617	20186,14	1000	ACPM
220338	20000618	20203,82	989,2	ACPM
220338	20000620	20247,08	943,5	ACPM
220338	20000621	20268,97	966,4	ACPM
220338	20000622	20290,72	971	ACPM
220338	20000623	20312,39	969,9	ACPM
220338	20000624	20322,82	1006,6	ACPM
220338	20000625	20343,26	1022,2	ACPM
220338	20000626	20365,14	920,6	ACPM
220338	20000627	20386,91	945,4	ACPM
220338	20000628	20408,71	902,1	ACPM
220338	20000629	20429,92	987,5	ACPM
220338	20000630	20452,02	933,3	ACPM
220338	20000702	20490,59	886,2	ACPM
220338	20000703	20512,67	991	ACPM
220338	20000704	20532,68	960,4	ACPM
220338	20000705	20553,75	928,3	ACPM
220338	20000706	20572,03	940,7	ACPM
220338	20000707	20592,8	956	ACPM
220338	20000708	20613,5	1000	ACPM
220338	20000709	20634,87	968,2	ACPM
220338	20000710	20656,06	977	ACPM
220338	20000710	20656,06	978,7	ACPM
220338	20000712	20696,95	968,2	ACPM
220338	20000712	20696,95	1009,9	ACPM
220338	20000713	20716,47	920,2	ACPM
220338	20000714	20723,84	981,8	ACPM
220338	20000714	20723,84	888	ACPM
220338	20000716	20767,27	953,9	ACPM
220338	20000717	20789,07	929,4	ACPM
220338	20000718	20810,19	1002	ACPM
220338	20000719	20831,26	943	ACPM
220338	20000720	20852,77	968,2	ACPM
220338	20000722	20868,43	944,6	ACPM
220338	20000723	20890,13	924,7	ACPM
220338	20000725	20934,26	998,5	ACPM
220338	20000726	20955,07	1016	ACPM
220338	20000727	20977,67	1005,5	ACPM
220338	20000728	20996,5	920,4	ACPM
220338	20000730	21034,15	975,9	ACPM
220338	20000731	21056,6	1002,4	ACPM
220338	20000801	21079,44	960,2	ACPM

220338	19990826	14428,82	916	ACPM
220338	19990829	14488,99	932,8	ACPM
220338	19990829	14488,99	-932,8	ACPM
220338	19990829	14488,99	932,8	ACPM
220338	19990830	14509,36	945,1	ACPM
220338	19990830	14509,36	908,2	ACPM
220338	19990830	14509,36	-908,2	ACPM
220338	19990830	14509,36	908,2	ACPM
220338	19990831	14528,31	1004	ACPM
220338	19990831	14528,31	-1004	ACPM
220338	19990831	14528,31	1004	ACPM
220338	19990901	14549,54	900,6	ACPM
220338	19990901	14549,54	-900,6	ACPM
220338	19990901	14549,54	900,6	ACPM
220338	19990903	14590,54	936,2	ACPM
220338	19990903	14590,54	-936,2	ACPM
220338	19990903	14590,54	936,2	ACPM
220338	19990904	14610,51	971,7	ACPM
220338	19990904	14610,51	-971,7	ACPM
220338	19990904	14610,51	971,7	ACPM
220338	19990905	14629,43	942,6	ACPM
220338	19990905	14629,43	-942,6	ACPM
220338	19990905	14629,43	942,6	ACPM
220338	19990906	14651,25	859,8	ACPM
220338	19990906	14651,25	-859,8	ACPM
220338	19990906	14651,25	859,8	ACPM
220338	19990908	14691,33	938,4	ACPM
220338	19990908	14691,33	-938,4	ACPM
220338	19990908	14691,33	938,4	ACPM
220338	19990909	14707,04	897,1	ACPM
220338	19990909	14707,04	-897,1	ACPM
220338	19990909	14707,04	897,1	ACPM
220338	19990910	14726,42	817,3	ACPM
220338	19990910	14726,42	-817,3	ACPM
220338	19990910	14726,42	817,3	ACPM
220338	19990911	14748,08	896,5	ACPM
220338	19990911	14748,08	-896,5	ACPM
220338	19990911	14748,08	896,5	ACPM
220338	19990913	14786,98	897,1	ACPM
220338	19990913	14786,98	946,7	ACPM
220338	19990913	14786,98	-946,7	ACPM
220338	19990913	14786,98	946,7	ACPM
220338	19990914	14806,61	939	ACPM
220338	19990914	14806,61	-939	ACPM
220338	19990914	14806,61	939	ACPM
220338	19990915	14828,25	945,7	ACPM
220338	19990915	14828,25	-945,7	ACPM

220338	20000802	21101,22	939	ACPM
220338	20000803	21123,18	969,4	ACPM
220338	20000804	21144,09	994,4	ACPM
220338	20000806	21182,94	913,3	ACPM
220338	20000807	21205,26	952,9	ACPM
220338	20000808	21222,08	961,3	ACPM
220338	20000809	21242,64	980	ACPM
220338	20000810	21264,38	891,4	ACPM
220338	20000811	21285,8	887,8	ACPM
220338	20000813	21329,22	896,3	ACPM
220338	20000814	21351,23	945,1	ACPM
220338	20000815	21372,86	980,5	ACPM
220338	20000816	21394,46	958,1	ACPM
220338	20000817	21416,46	1000	ACPM
220338	20000818	21438,32	739,9	ACPM
220338	20000819	21459,39	965	ACPM
220338	20000820	21480,8	971,6	ACPM
220338	20000822	21522,47	978	ACPM
220338	20000823	21544	978	ACPM
220338	20000824	21565,8	978,8	ACPM
220338	20000825	21584,24	894	ACPM
220338	20000826	21602,55	865,5	ACPM
220338	20000827	21625,14	1000	ACPM
220338	20000828	21646,47	959,3	ACPM
220338	20000829	21667,81	979,9	ACPM
220338	20000830	21689,24	963	ACPM
220338	20000831	21711,11	969	ACPM
220338	20000902	21743,04	971	ACPM
220338	20000904	21756,48	945,7	ACPM
220338	20000906	21799,8	982,7	ACPM
220338	20000907	21821,04	922	ACPM
220338	20000908	21842,89	980	ACPM
220338	20000909	21859,77	956,5	ACPM
220338	20000910	21880,97	929,3	ACPM
220338	20000911	21901,12	946,5	ACPM
220338	20000913	21938,44	1000	ACPM
220338	20000914	21960,53	953,5	ACPM
220338	20000915	21979,52	882,8	ACPM
220338	20000916	21999,43	885,4	ACPM
220338	20000917	22018,35	997,2	ACPM
220338	20000918	22039,67	969	ACPM
220338	20000919	22061,34	868,4	ACPM
220338	20000920	22083,44	917,9	ACPM
220338	20000921	22104,84	964,3	ACPM
220338	20000923	22140,85	951,1	ACPM
220338	20000924	22162,87	934,3	ACPM
220338	20000925	22182,85	987	ACPM

220338	19990915	14828,25	945,7	ACPM
220338	19990916	14849,36	917,1	ACPM
220338	19990916	14849,36	-917,1	ACPM
220338	19990916	14849,36	917,1	ACPM
220338	19990917	14870,9	885,7	ACPM
220338	19990917	14870,9	-885,7	ACPM
220338	19990917	14870,9	885,7	ACPM
220338	19990918	14890,43	947	ACPM
220338	19990918	14890,43	-947	ACPM
220338	19990918	14890,43	947	ACPM
220338	19990919	14911,83	892,6	ACPM
220338	19990919	14911,83	-892,6	ACPM
220338	19990919	14911,83	892,6	ACPM
220338	19990921	14949,34	895	ACPM
220338	19990921	14949,34	-895	ACPM
220338	19990921	14949,34	895	ACPM
220338	19990922	14966,89	922	ACPM
220338	19990922	14966,89	-922	ACPM
220338	19990922	14966,89	922	ACPM
220338	19990923	14988,52	937,8	ACPM
220338	19990923	14988,52	-937,8	ACPM
220338	19990923	14988,52	937,8	ACPM
220338	19990924	15010,19	898,3	ACPM
220338	19990924	15010,19	-898,3	ACPM
220338	19990924	15010,19	898,3	ACPM
220338	19990925	15029,61	949,9	ACPM
220338	19990925	15029,61	-949,9	ACPM
220338	19990925	15029,61	949,9	ACPM
220338	19990930	15064,18	718,8	ACPM
220338	19991001	15084,47	941	ACPM
220338	19991002	15105,88	854,5	ACPM
220338	19991003	15126,88	973,2	ACPM
220338	19991004	15145,41	937	ACPM
220338	19991005	15167,37	894,7	ACPM
220338	19991007	15206,46	856,5	ACPM
220338	19991008	15227,6	947	ACPM
220338	19991009	15245,45	959,5	ACPM
220338	19991010	15264,85	964,1	ACPM
220338	19991011	15286,53	900,2	ACPM
220338	19991012	15308,02	931	ACPM
220338	19991013	15329,35	-896,5	ACPM
220338	19991013	15329,35	-946,7	ACPM
220338	19991013	15329,35	-939	ACPM
220338	19991013	15329,35	-885,7	ACPM
220338	19991014	15350,53	992	ACPM
220338	19991015	15368,74	859,8	ACPM
220338	19991015	15368,74	938,4	ACPM

220338	20000926	22204,1	987,2	ACPM
220338	20000927	22223,01	846	ACPM
220338	20000929	22261,33	970	ACPM
220338	20000930	22279,87	912	ACPM
220338	20001001	22302	883,4	ACPM
220338	20001002	22324,36	991	ACPM
220338	20001003	22346,02	957	ACPM
220338	20001004	22368,11	967	ACPM
220338	20001005	22389,46	930	ACPM
220338	20001006	22410,29	914	ACPM
220338	20001008	22442,44	957	ACPM
220338	20001009	22464,27	945	ACPM
220338	20001010	22485,75	930	ACPM
220338	20001010	22485,75	548	ACPM
220338	20001011	22507,62	963	ACPM
220338	20001012	22525,3	936,9	ACPM
220338	20001013	22546,86	938	ACPM
220338	20001014	22563,44	954,7	ACPM
220338	20001014	22563,44	948	ACPM
220338	20001016	22592,88	936,5	ACPM
220338	20001017	22614,5	825,3	ACPM
220338	20001018	22635,94	995,7	ACPM
220338	20001019	22653,18	948	ACPM
220338	20001021	22688,97	901,3	ACPM
220338	20001022	22709,55	964,3	ACPM
220338	20001023	22727,88	1000	ACPM
220338	20001024	22747,67	890	ACPM
220338	20001025	22767,04	893,7	ACPM
220338	20001026	22782,5	901,9	ACPM
220338	20001030	22804,72	958,2	ACPM
220338	20001031	22826,27	929,8	ACPM
220338	20001103	22860,17	941,7	ACPM
220338	20001104	22881,1	978,3	ACPM
220338	20001105	22903,15	945	ACPM
220338	20001106	22920,67	925,8	ACPM
220338	20001107	22939,97	936,8	ACPM
220338	20001108	22960,36	936	ACPM
220338	20001109	22982	969,8	ACPM
220338	20001109	22982	-969,8	ACPM
220338	20001109	22982	969,8	ACPM
220338	20001110	23003,9	1005,2	ACPM
220338	20001110	23003,9	-1005,2	ACPM
220338	20001110	23003,9	1005,2	ACPM
220338	20001111	23022,47	843,3	ACPM
220338	20001111	23022,47	-843,3	ACPM
220338	20001111	23022,47	843,3	ACPM
220338	20001112	23043,25	942,4	ACPM

220338	19991015	15368,74	945,7	ACPM
220338	19991015	15368,74	898,3	ACPM
220338	19991015	15368,74	949,9	ACPM
220338	19991015	15368,74	900,2	ACPM
220338	19991015	15368,74	931	ACPM
220338	19991015	15368,74	850	ACPM
220338	19991016	15390,52	900	ACPM
220338	19991017	15410,85	914	ACPM
220338	19991018	15431,75	965	ACPM
220338	19991019	15444,94	965	ACPM
220338	19991020	15464,38	915,6	ACPM
220338	19991021	15485,62	956	ACPM
220338	19991022	15505,17	989,6	ACPM
220338	19991023	15527,34	912,7	ACPM
220338	19991024	15548,7	976,6	ACPM
220338	19991025	15569,72	953	ACPM
220338	19991026	15591,5	930,9	ACPM
220338	19991027	15611,79	913,7	ACPM
220338	19991028	15634,58	897,8	ACPM
220338	19991029	15651,37	884,3	ACPM
220338	19991031	15691,45	870,9	ACPM
220338	19991101	15711,59	879	ACPM
220338	19991102	15728,17	924,2	ACPM
220338	19991104	15742,47	933,2	ACPM
220338	19991106	15774,06	965,5	ACPM
220338	19991107	15794,66	925	ACPM
220338	19991108	15809,92	900,8	ACPM
220338	19991110	15841,65	973,5	ACPM
220338	19991111	15864,19	952	ACPM
220338	19991112	15886,17	857	ACPM
220338	19991113	15906,41	917,6	ACPM
220338	19991114	15907,45	917,6	ACPM
220338	19991115	15907,45	968	ACPM
220338	19991117	15941,04	755	ACPM
220338	19991118	15957,27	936	ACPM
220338	19991119	15979,45	849,2	ACPM
220338	19991120	16000,8	816,6	ACPM
220338	19991121	16018,68	949,4	ACPM
220338	19991122	16034,75	913	ACPM
220338	19991123	16056,82	978	ACPM
220338	19991124	16077,5	986,6	ACPM
220338	19991125	16099,53	953	ACPM
220338	19991127	16143,48	909	ACPM
220338	19991128	16161,71	977	ACPM
220338	19991129	16183	920,3	ACPM
220338	19991130	16204,29	988	ACPM
220338	19991201	16222,38	948,2	ACPM

220338	20001112	23043,25	-942,4	ACPM
220338	20001112	23043,25	942,4	ACPM
220338	20001114	23083,22	914,3	ACPM
220338	20001114	23083,22	-914,3	ACPM
220338	20001114	23083,22	914,3	ACPM
220338	20001115	23103,77	943,3	ACPM
220338	20001115	23103,77	-943,3	ACPM
220338	20001115	23103,77	943,3	ACPM
220338	20001115	23103,77	-943,3	ACPM
220338	20001115	23103,77	943,3	ACPM
220338	20001116	23121,74	1043	ACPM
220338	20001116	23121,74	-1043	ACPM
220338	20001116	23121,74	1043	ACPM
220338	20001117	23143,04	944,7	ACPM
220338	20001118	23164,2	59,8	ACPM
220338	20001118	23164,2	867	ACPM
220338	20001119	23185,56	895	ACPM
220338	20001120	23206,65	940	ACPM
220338	20001121	23227,68	863,3	ACPM
220338	20001122	23249,22	870,9	ACPM
220338	20001124	23282,49	923	ACPM
220338	20001125	23300,03	406	ACPM
220338	20001126	23321,48	914	ACPM
220338	20001127	23342,59	967	ACPM
220338	20001128	23364,27	1000	ACPM
220338	20001129	23385,17	886	ACPM
220338	20001129	23385,17	886	ACPM
220338	20001130	23407,02	974	ACPM
220338	20001130	23407,02	974	ACPM
220338	20001201	23419,88	790	ACPM
220338	20001202	23437,62	524	ACPM
220338	20001203	23450,42	853	ACPM
220338	20001204	23472,74	694	ACPM
220338	20001205	23493,79	968	ACPM
220338	20001206	23513,79	980	ACPM
220338	20001207	23535,93	1018,3	ACPM
220338	20001207	23535,93	985	ACPM
220338	20001208	23557,46	964,8	ACPM
220338	20001210	23597,77	913	ACPM
220338	20001210	23597,77	970	ACPM
220338	20001211	23619,27	882	ACPM
220338	20001212	23642,2	928	ACPM
220338	20001212	23642,2	-928	ACPM
220338	20001212	23642,2	928	ACPM
220338	20001213	23664	874,4	ACPM
220338	20001213	23664	-874,4	ACPM
220338	20001213	23664	874,4	ACPM

220338	19991202	16243,81	923	ACPM
220338	19991203	16264,36	845,2	ACPM
220338	19991205	16296,82	823,8	ACPM
220338	19991206	16317,87	865	ACPM
220338	19991207	16339,08	923	ACPM
220338	19991208	16356,59	909	ACPM
220338	19991210	16384,25	978	ACPM
220338	19991212	16414,63	829,3	ACPM
220338	19991213	16429,76	891,7	ACPM
220338	19991214	16444,74	829,3	ACPM
220338	19991214	16444,74	891,7	ACPM
220338	19991215	16456,12	927,7	ACPM
220338	19991217	16479,51	909,4	ACPM
220338	19991218	16500,75	874,5	ACPM
220338	19991219	16523,02	984,5	ACPM
220338	19991221	16550,55	910,6	ACPM
220338	19991222	16572,08	980	ACPM
220338	19991223	16593,94	935,2	ACPM
220338	19991224	16614,95	844,2	ACPM
220338	19991225	16635,64	945,6	ACPM
220338	19991226	16656,86	953,9	ACPM
220338	19991227	16678,95	936	ACPM
220338	19991228	16700,84	947	ACPM
220338	19991229	16720,5	937,4	ACPM
220338	19991230	16742,04	953,9	ACPM
220338	19991230	16742,04	988,3	ACPM
220338	20000102	16760,34	964	ACPM
220338	20000103	16782	927,7	ACPM
220338	20000104	16803,92	927,7	ACPM
220338	20000104	16803,92	931,6	ACPM
220338	20000105	16825,44	946	ACPM
220338	20000106	16847	952	ACPM
220338	20000107	16865,87	859,7	ACPM
220338	20000108	16886,73	913,7	ACPM
220338	20000109	16908,82	919,5	ACPM
220338	20000110	16931,35	950	ACPM
220338	20000111	16953,31	925,2	ACPM
220338	20000112	16975,29	907,5	ACPM
220338	20000113	16993,14	946,7	ACPM
220338	20000114	17015,5	925,2	ACPM
220338	20000114	17015,5	915	ACPM
220338	20000116	17050,52	900,6	ACPM
220338	20000117	17067,4	951,5	ACPM
220338	20000118	17084,84	937,8	ACPM
220338	20000119	17105,99	914,2	ACPM
220338	20000120	17125,75	913,6	ACPM
220338	20000121	17147,93	947,8	ACPM

220338	20001214	23685,05	952	ACPM
220338	20001214	23685,05	-952	ACPM
220338	20001214	23685,05	952	ACPM
220338	20001215	23706,8	974	ACPM
220338	20001215	23706,8	-974	ACPM
220338	20001215	23706,8	974	ACPM
220338	20001216	23726,93	860,4	ACPM
220338	20001218	23763,06	971	ACPM
220338	20001219	23782,52	932	ACPM
220338	20001220	23791,1	943	ACPM
220338	20001221	23808,1	873,2	ACPM
220338	20001223	23843,34	920,8	ACPM
220338	20001224	23864,87	876,7	ACPM
220338	20001225	23885,95	960	ACPM
220338	20001226	23908,32	954	ACPM
220338	20001227	23930,08	950	ACPM
220338	20001228	23952,26	909,9	ACPM
220338	20001229	23964,41	952	ACPM
220338	20010102	23998,85	996	ACPM
220338	20010102	23998,85	996	ACPM
220338	20010102	23998,85	996	ACPM
220338	20010102	23998,85	940	ACPM
220338	20010102	23998,85	-996	ACPM
220338	20010102	23998,85	-940	ACPM
220338	20010102	23998,85	996	ACPM
220338	20010102	23998,85	940	ACPM
220338	20010102	23998,85	-996	ACPM
220338	20010102	23998,85	-996	ACPM
220338	20010103	24020,43	969	ACPM
220338	20010103	24020,43	-969	ACPM
220338	20010103	24020,43	969	ACPM
220338	20010104	24042,08	835	ACPM
220338	20010104	24042,08	-835	ACPM
220338	20010104	24042,08	835	ACPM
220338	20010105	24064,57	920,1	ACPM
220338	20010105	24064,57	-920,1	ACPM
220338	20010105	24064,57	920,1	ACPM
220338	20010106	24079,54	981	ACPM
220338	20010106	24079,54	-981	ACPM
220338	20010106	24079,54	981	ACPM
220338	20010107	24101,88	940,4	ACPM
220338	20010107	24101,88	-940,4	ACPM
220338	20010107	24101,88	940,4	ACPM
220338	20010108	24125,11	932	ACPM
220338	20010108	24125,11	-932	ACPM
220338	20010108	24125,11	932	ACPM
220338	20010109	24146,95	951,1	ACPM

220338	20000122	17169,9	962,4	ACPM
220338	20000123	17191,52	924,4	ACPM
220338	20000124	17213,55	929,9	ACPM
220338	20000125	17232,43	934,6	ACPM
220338	20000126	17253,88	906,3	ACPM
220338	20000127	17273,7	907,1	ACPM
220338	20000129	17308,51	930,8	ACPM
220338	20000130	17331,37	897,4	ACPM
220338	20000131	17353,16	927,9	ACPM
220338	20000201	17374,97	985,5	ACPM
220338	20000202	17396,17	985,5	ACPM
220338	20000202	17396,17	941,6	ACPM
220338	20000203	17417,81	913,2	ACPM
220338	20000204	17439,75	898,5	ACPM
220338	20000205	17462	981	ACPM
220338	20000206	17484,16	897,7	ACPM
220338	20000206	17484,16	952,1	ACPM
220338	20000208	17515,36	933,4	ACPM
220338	20000209	17536,13	931,9	ACPM
220338	20000211	17569,41	927,6	ACPM
220338	20000212	17591,43	872,6	ACPM
220338	20000213	17613,33	998,2	ACPM
220338	20000214	17632,69	924,6	ACPM
220338	20000215	17654,5	966,6	ACPM
220338	20000216	17676,41	998,2	ACPM
220338	20000216	17676,41	918,9	ACPM
220338	20000217	17697,84	947	ACPM
220338	20000218	17717,91	923	ACPM
220338	20000219	17740,15	995	ACPM
220338	20000220	17762,4	969,5	ACPM
220338	20000221	17782,8	898,4	ACPM
220338	20000222	17804,81	978,7	ACPM
220338	20000223	17824,94	958,7	ACPM
220338	20000224	17846,79	887,9	ACPM
220338	20000225	17868,12	932,7	ACPM
220338	20000226	17889,68	880,9	ACPM
220338	20000228	17934,32	948,5	ACPM
220338	20000229	17956,59	905,8	ACPM
220338	20000229	17956,59	-905,8	ACPM
220338	20000229	17956,59	905,8	ACPM
220338	20000301	17978,09	957,8	ACPM
220338	20000301	17978,09	-957,8	ACPM
220338	20000301	17978,09	957,8	ACPM
220338	20000302	17998,39	-872	ACPM
220338	20000302	17998,39	872	ACPM
220338	20000303	18016,45	-920,5	ACPM
220338	20000303	18016,45	920,5	ACPM

220338	20010109	24146,95	-951,1	ACPM
220338	20010109	24146,95	951,1	ACPM
220338	20010110	24168,42	970	ACPM
220338	20010111	24188,63	932	ACPM
220338	20010111	24188,63	984	ACPM
220338	20010112	24210,6	931,5	ACPM
220338	20010113	24232,97	789,5	ACPM
220338	20010114	24251,71	966,7	ACPM
220338	20010115	24274,4	982	ACPM
220338	20010116	24295,87	856	ACPM
220338	20010117	24314,29	1012,6	ACPM
220338	20010118	24335,13	1120	ACPM
220338	20010119	24357,56	1005,9	ACPM
220338	20010120	24379,66	925,8	ACPM
220338	20010121	24398,76	909,3	ACPM
220338	20010122	24420,98	891	ACPM
220338	20010123	24442,93	953	ACPM
220338	20010124	24465,63	922,4	ACPM
220338	20010125	24481,57	956,4	ACPM
220338	20010126	24503,62	957	ACPM
220338	20010127	24526,38	900	ACPM
220338	20010128	24548,15	967	ACPM
220338	20010129	24567,9	968,1	ACPM
220338	20010130	24589,01	935,5	ACPM
220338	20010131	24610,53	926	ACPM
220338	20010202	24644,69	944,9	ACPM
220338	20010203	24665,94	937,6	ACPM
220338	20010204	24686,63	971	ACPM
220338	20010205	24707,42	989,5	ACPM
220338	20010206	24727,47	925	ACPM
220338	20010207	24747,74	1002	ACPM
220338	20010208	24763,54	970	ACPM
220338	20010210	24799,77	920	ACPM
220338	20010211	24817,77	1000,7	ACPM
220338	20010212	24836,36	999,4	ACPM
220338	20010213	24839,08	1000,7	ACPM
220338	20010214	24860,09	914,2	ACPM
220338	20010215	24880,25	910	ACPM
220338	20010216	24902,33	935,6	ACPM
220338	20010217	24922,21	880	ACPM
220338	20010218	24943,63	913	ACPM
220338	20010219	24965,82	578	ACPM
220338	20010220	24983,33	959	ACPM
220338	20010221	25003,01	935,3	ACPM
220338	20010222	25024,74	970	ACPM
220338	20010223	25044,5	960,3	ACPM
220338	20010224	25066,58	897,5	ACPM

220338	20000304	18037,81	928	ACPM
220338	20000306	18077,07	957,8	ACPM
220338	20000306	18077,07	947,7	ACPM
220338	20000307	18098,55	884,6	ACPM
220338	20000308	18120,89	955	ACPM
220338	20000309	18143,83	872,8	ACPM
220338	20000310	18165,67	922,6	ACPM
220338	20000311	18187,31	938,5	ACPM
220338	20000312	18210	886,1	ACPM
220338	20000313	18231,97	938,5	ACPM
220338	20000313	18231,97	961	ACPM
220338	20000314	18253,52	885,8	ACPM
220338	20000315	18275,19	909,4	ACPM
220338	20000316	18296,5	985	ACPM
220338	20000317	18317,4	936,7	ACPM
220338	20000318	18338,73	951	ACPM
220338	20000319	18359,1	961,3	ACPM
220338	20000320	18379,39	961,7	ACPM
220338	20000321	18392,45	951	ACPM
220338	20000321	18392,45	961,3	ACPM
220338	20000321	18392,45	843,2	ACPM
220338	20000322	18414,12	950	ACPM
220338	20000323	18436,58	971,3	ACPM
220338	20000325	18479,95	956,1	ACPM
220338	20000326	18503,13	950,9	ACPM
220338	20000327	18525,15	999	ACPM
220338	20000327	18525,15	869,5	ACPM
220338	20000329	18566,76	978	ACPM
220338	20000330	18584,47	942	ACPM
220338	20000331	18591,66	946,4	ACPM

220338	20010226	25097,45	874,6	ACPM
220338	20010227	25118,83	918,4	ACPM
220338	20010228	25140,19	919	ACPM
220338	20010301	25160,69	953	ACPM
220338	20010303	25188,62	932	ACPM
220338	20010305	25212,19	930	ACPM
220338	20010306	25233,15	955,4	ACPM
220338	20010308	25275,66	966,7	ACPM
220338	20010309	25296,25	891	ACPM
220338	20010310	25318,4	776	ACPM
220338	20010311	25337,91	960	ACPM
220338	20010312	25359,05	949,9	ACPM
220338	20010313	25380,14	1004	ACPM
220338	20010315	25419,24	920	ACPM
220338	20010316	25436,77	948,4	ACPM
220338	20010317	25454,01	961	ACPM
220338	20010318	25476,19	898,6	ACPM
220338	20010320	25508,83	1001,6	ACPM
220338	20010321	25529,95	980	ACPM
220338	20010323	25568,22	942,6	ACPM
220338	20010325	25604,89	1001	ACPM
220338	20010326	25626,48	927	ACPM
220338	20010327	25647,88	733	ACPM
220338	20010328	25666,26	959	ACPM
220338	20010329	25686,51	960	ACPM
220338	20010329	25686,51	-960	ACPM
220338	20010329	25686,51	960	ACPM
220338	20010330	25706,11	600	ACPM
220338	20010401	25735,55	902,9	ACPM

La calificación para el consumo de combustible para cada periodo se lista a continuación:

Cuadro 45. Calificación del consumo de combustible

<b>Sumini</b>	<b>Hrs Op</b>	<b>Hrs acumuladas</b>	<b>Consumo</b>	<b>CC</b>
48551,5	1071,15	1071	45,33	0,00
42875	912,27	1983	47,00	0,80
55662,4	1341,58	3325	41,49	0,00
44830,5	1011,18	4336	44,33	0,00
49386,8	1059,24	5395	46,62	0,35
47824,7	1076,3	6472	44,43	0,00
43436,4	1064,41	7536	40,81	0,00

51760,1	1067,77	8604	48,47	0,07
40027,2	1019,2	9623	39,27	0,00
44708,5	1039,46	10663	43,01	0,00
46433,7	1025,6	11688	45,27	0,00
47410,5	1030,98	12719	45,99	0,07
34618	896,47	13616	38,62	0,00

### 10.1.7 CALCULOS DE ICM

La evaluación con el ICM arroja los siguientes resultados:

Tabla 38. calificaciones con ICM

periodo	#rep	hrs uso	Hrs acum	ICM
0	0	0	0	1
1	0	1071,15	1071,15	0,934592
2	0	912,27	1983,42	0,700322
3	0	1341,58	3325	0,662969
4	0	1011,18	4336,18	0,631941
5	0	1059,24	5395,42	0,524604
6	0	1076,3	6471,72	0,487881
7	0	1064,41	7536,13	0,430698
8	0	1067,77	8603,9	0,372482
9	0	1019,2	9623,1	0,306602
10	0	1039,46	10662,56	0,248887
11	0,05	1025,6	11688,16	0,188516
12	0	1030,98	12719,14	0,107739
13	0	896,47	13615,61	0,043731

con estos datos se genera las siguiente gráfica:

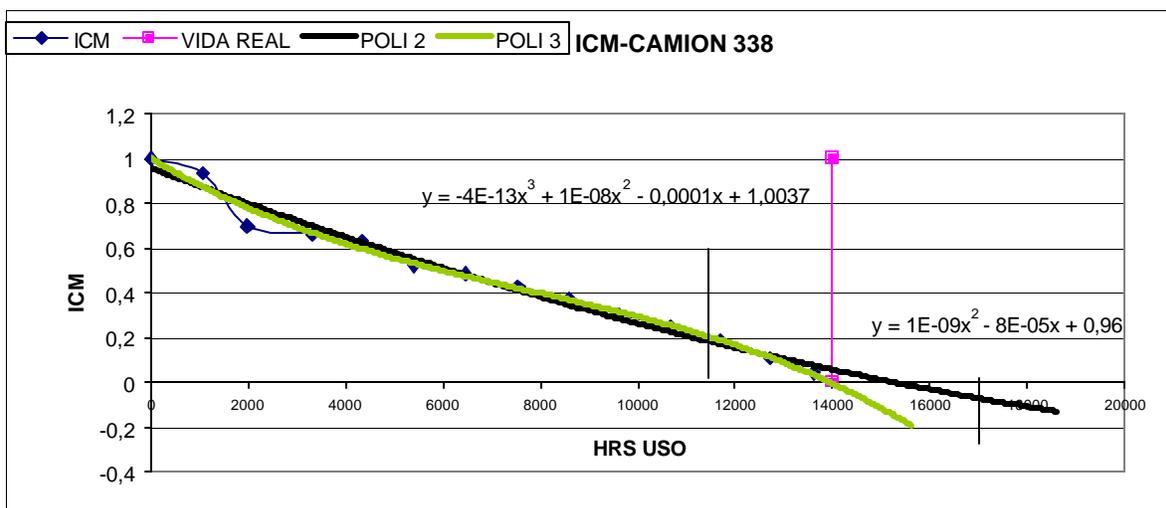
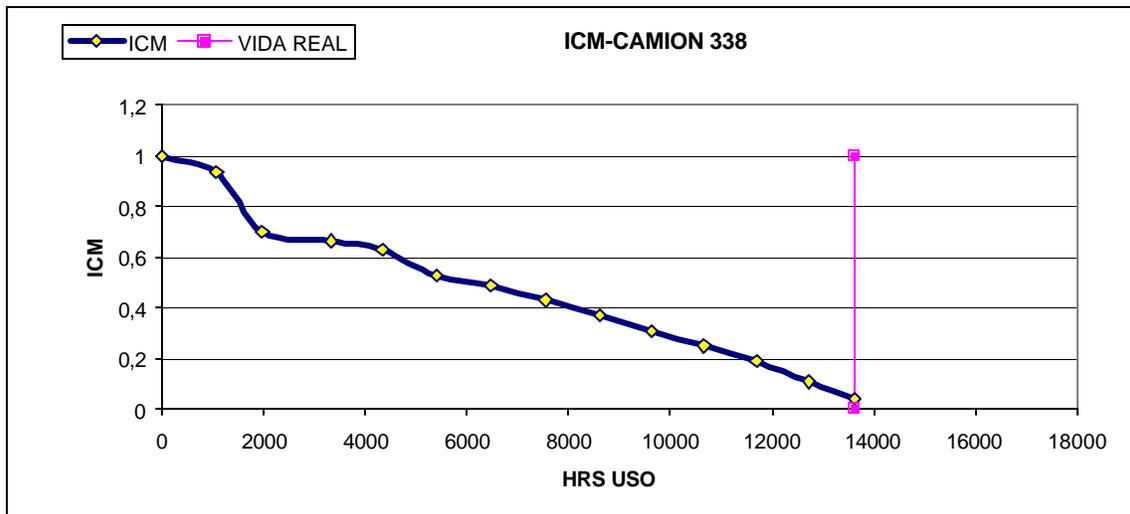


Figura 43 Curva generada por la evaluación de la condición de un motor con ICM

la gráfica que aparece resaltada en verde es una regresión polinómica de grado tres, la curva de color negro, representa la regresión de grado dos, la curva en azul, es la curva de ICM, la cual se aprecia mejor en la grafica que aparece a continuación. Al resolver las ecuaciones que generan las curvas de regresión para cuando ICM es igual a cero (0), dan las proyecciones de vida remanente, a continuación se listan estos valores:

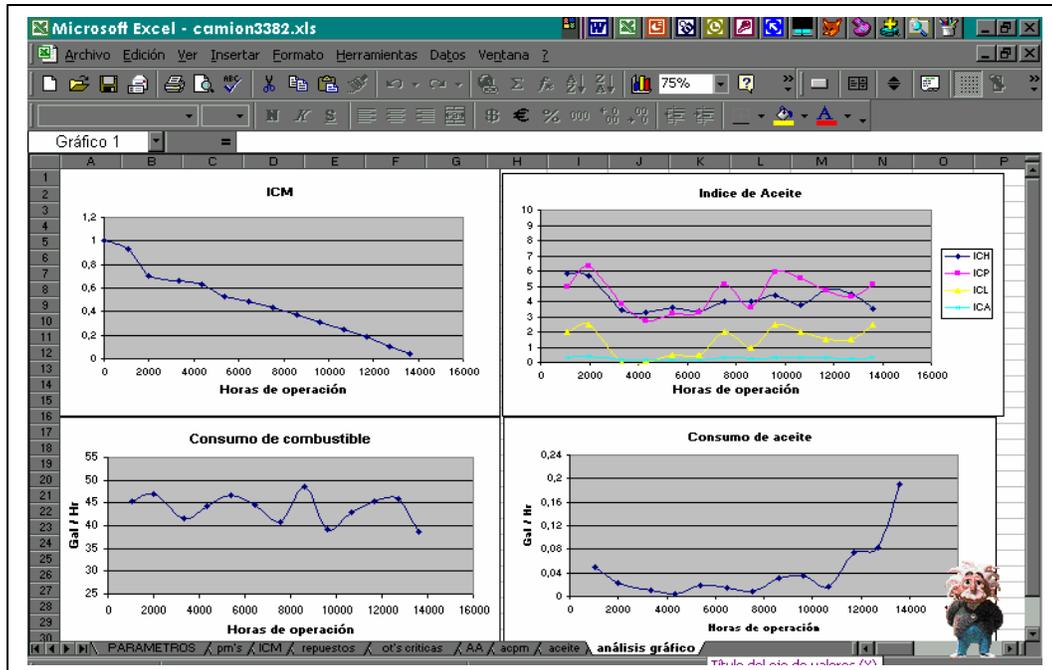
Cuadro 47. Proyecciones de vida para el camión 338



Hrs Reales	Proyección lineal	Proyección Grado 2	Proyección Grado 3
13615	14250	14782	13708

Una de las ventajas más importantes que presenta el ICM es la grafica de los parámetros que evalúan la condición de los motores, la cual permite identificar de

manera visual aquellas variables que están afectando la calificación y por ende inducen a un deterioro progresivo e incluso acelerado.



6Figura 44 Visualización de los parámetros que intervienen en la evaluación con ICM

### 10.3 OTROS EQUIPO EVALUADOS

Para comprobar la efectividad del índice de condición de motores (ICM) se evaluaron los siguientes equipos, los cuales fueron dados de baja, algunos para su reconstrucción, otros como elementos chatarra para su desecho.

1.

## 2. 10.3.1 CUMMINS

**Camión:** 0220-103

**Motor:** 02211959-1

**Tipo:** MOTOR KTA50C, TIPO STC, SKINNER / PRELUBE.

**Horas reales:** 19656.27

**% de error:** Mejor proyección polinomio orden 3 con error de 5.85%

**Comentarios:** EL motor se bajó porque el camión fue convertido a tanquero y estuvo cerca de 3 meses down.

### Ordenes de trabajo

**KE027626:** Sin datos.

**RD015414:** DESACOP. MODULO EUC. #02211959-1 HR: 1965

SE SOLTÓ EL ALTERNADOR, EL RADIADOR Y LA VENTILADORA. SE LLEVARON A SUS RESPECTIVOS TALLERES PARA SU RECUPERACIÓN. EL MOTOR SE PASO A BASE , QUEDA LISTO PARA LLEVAR AL PATIO.

**Camión:** 0220-118

**Motor:** 02211959-1

**Tipo:** MOTOR KTA50C, TIPO STC.

**Horas reales:** 16414.

**% de error:** Mejor proyección polinomio orden 2 con error de 5.69%

**Comentarios:** La OT de remoción indica una falla en el puesto 2L, mas la de reconstrucción indica vida útil, me inclino a créele más a la de reconstrucción. Según esto el motor hubiese podido seguir andando.

**KR034109:** CAMBIO MODULO DE POTENCIA (TAREA CRITICA)

Esta orden la abrió el señor Julio Alvis con el prefijo (KR) no la pude cancelar por ser componente mayor y tener costos de materiales asignados y cambiarla por un orden con el prefijo (KE)..ATTE: LUIS N. DIAZ (BASE5), fue necesario cambiar el modulo de potencia porque presento una falla en el puesto 2L.

### **OT RECONSTRUCCIÓN**

Este motor entro a desarme por vida útil. En el desarme se encontraron los componentes con desgaste normal a excepción de varios balancines de escape y admisión. La camisa 7R estaba instalada con inserto STD y con shim de 0.007", camisa a 0.010".+

**Camión:** 133

**Motor:** 02211536

**Tipo:** MOTOR KTA50C, TIPO PTH

**Horas reales:** 13609.68

**% de error:** Mejor proyección polinomio orden 3 con error de 1.09%

**Comentarios:** Una excelente predicción, el motor trago tierra y por eso murió, en los últimos análisis de aceite se presenta un acelerado desgaste de pistones (alto Aluminio) que condujo a que este motor se desmontara. Los consumos se incrementaron.

### **Ordenes de trabajo**

Se desacoplo el radiador y se monto en estiva para ser enviado al patio. se bajo el ventilador, y el tensor de correa, fueron devueltos a CORE. También se desacoplo el alternador, y se llevo a los eléctricos. el motor se paso a base y se dejo para llevar al patio.

---

**Camión:** 0220-134

**Motor:** 02211514-1

**Tipo:** MOTOR KTA50CJIPO STC,SKIN.VALVE/PRELUB

**Horas reales:** 19613.89

**% de error:** polinomio orden 3 2.23% último ICM 0.04

**Comentarios:** Una excelente predicción.

### **OT Desmonte**

...10....+...20....+...30....+...40....+...50....+...60

se evaluó el motor y este presenta fuga de refrigerante por 6 culatas del banco izquierdo y una del banco derecho, además tiene baja potencia y el turbo del banco derecho en mal estado, los filtros de aire están limpios. el motor tiene 19611 horas.

### **OT Reconstrucción**

...10....+...20....+...30....+...40....+...50....+...60

Motor pendiente de entrar a proceso.

Técnico provisional bajo el alternador. se asigno a Javier Herrera para que bajara radiador y motor. pero había escasez de estibas para radiador, ocasiono demora, después se logro bajar el radiador y se llevo al patio en estiba. El motor se paso a base y se deajo en el patio. Los accesorio se llevaron al área de arme de modulo. Se deajo el área aseada y ordenada.

---

**Camión:** 0220-144

**Motor:** 02211524-2

**Tipo:** MOTOR KTA50CJIPO STC,SKIN.VALVE/PRELUB

**Horas reales:** 15468

**% de error:** Mejor proyección polinomio orden 3 con error 1.48%

**Comentarios:** El motor se bajó por vida útil, la OT de reconstrucción indica que el motor estaba un poco mal. Otra excelente predicción.

Presentó muchas Ot's graves. Consumos excecivos y el análisis de aceite muy malo.

### **OT Desmante**

Vida útil OT reconstrucción:

...10....+...20....+...30....+...40....+...50....+...60

Este motor presento alta presión cárter y fue removido con 15500 horas (el motor era nuevo), al desarmar se encontró lo siguiente

1-Balancines picados en la superficie de contacto con el puente de válvula en admisión = 5L, 8L y escape = 1R, 4R y 8R.

2- Turbo trasero presenta turbina rajada.

3- Anillo de fuego 4R roto

4- Carcaza del volante rajada en la parte inferior derecha,

5- Espejo presenta grieta en el área donde va el alternador de carga de la batería,

6- Entrada de tierra por el banco derecho lo cual dio origen al excesivo desgaste de las camisas y recostamiento de los pistones. Técnico desarme Germán Solano

Sept.6/2000

---

**Camión:** 0220-150

**Motor:** 02211962

**Tipo:** MOTOR KTA50CJIPO PTG

**Horas reales:** 15311.81

**% de error:** Mejor proyección polinomio orden 2 con error de 3.82%

**Comentarios:** Otro acierto de por parte de ICM. Análisis de aceite con muchos metales, Alto consumo de lubricantes y ACPM.

## **ORDEN DE TRABAJO**

...10....+...20....+...30....+...40....+...50....+...60

Se cambio modulo por vida útil, se realizo prueba de potencia, ver valores en formato. Pablo Gamboa / Julio Yépez, Eliécer Hernández / Álvaro Frias

## **ORDER DE RECONSTRUCCIÓN**

...10....+...20....+...30....+...40....+...50....+...60

El motor giraba con mucha resistencia. Al desarmar se encontró lo siguiente:

1- El buje del manguito de la bomba de agua girado, recalentado, quemado, con el tornillo flojo. Desgaste abrasivo y los orificios de lubricación tapados.

2- Balancines picados en el área de contacto con el puente de válvulas 1L, 2L, 3L y 4R, 6R, 8R.

3- Todos los casquetes de bancada con desgaste severo, tanto así que era lo que tenia al motor frenado por deficiente lubricación.

**CYLINDER KIT:** Anillo de fuego roto 8R, casquete desintegrado y camisa rayada 6R, pistón picado 1,4,8L, casquete de biela girado 5R.

NOTA: Se desecho el bloque porque tenia 60000 horas y presentaba varios achaques: Manguito de la bomba de H2O girado, orificio de casquetes de bancada agrandados, grieta en la superficie de culatas, 6 roscas de culatas dañadas etc. Por lo anterior se decidió darle da baja al bloque, cigüeñal algunas bielas, damper. etc.

Técnico: Germán Solano-May.31/2000

---

---

**Camión:** 0220-153

**Motor:** 02211521-1

**Tipo:** MOTOR KTA50CJIPO STC

**Horas reales:** 19553.89

**% de error:** Mejor proyección polinomio orden 3 con error de 0.74%

**Comentarios:** Otro acierto por parte de ICM....Aceite muestra indicios de contaminación por plomo. No presentó consumos excesivos.

## **ORDEN DE TRABAJO**

**KE023267**

...10....+...20....+...30....+...40....+...50....+...60

Se cambio modulo de potencia por presentar daño en líneas de potencia. Hay mayor labor demandada por cambio de configuración de STC a estándar

## **ORDEN DE RECONSTRUCCIÓN**

**RD014333**

...10....+...20....+...30....+...40....+...50....+...60 Este motor fue desarmado por el Sr Arnulfo Anaya encontrando lo siguiente:

En el puesto 3L la válvula de escape descabezada, casqueteria de biela y bancada con desgaste normal, balancines de escape picados R:1,2,4,5,6,7,8 L:2,4,5,6,7 admisión picados R:1,6,7 L:2,4. Pistón del 3L demasiado golpeado.

C. Cardona 01/25/00.

---

---

**Camión:** 0220-160

**Motor:** 02211504

**Tipo:** MOTOR KTA50CJIPO PTG

**Horas reales:** 10594.36

**% de error:** Mejor proyección polinomio orden 3 con error de 1.05%

**Comentarios:** Otro acierto por parte de ICM....Mucha dilución se presenta en las OT's criticas. Solo una vez trago tierra. No hay consumos excesivos.

## **ORDENES DE TRABAJO**

**KE026151:** Sin comentarios

### **RD015012**

...10....+...20....+...30....+...40....+...50....+...60 Este motor presento dilución repetitiva, en el desarme se encontró todos los balancines sueltos y la culata 4R desmontada, árbol de levas izq. dañado en la leva del inyector 6L, camisas con excesivo desgaste, hubo que darle motortool cámara de aire con mucha tierra.

C. Cardona.

---

---

**Camión:** 0220-161

**Motor:** 02211533

**Tipo:** MOTOR KTA50CJIPO PTG

**Horas reales:** 13632

**% de error:** Mejor proyección Lineal con error de 11.82%

**Comentarios:** Aceite contaminado por plomo sodio Silicio, elevada viscosidad, consumos elevados al final de la vida.

## **ORDEN DE TRABAJO**

**KE025809:** Sin datos

**Rd014986:** Se abrió orden para devolver los CORES.

**RM021904:** REPARAR BLOQUE MOTOR 30-67 #02211533

...10....+...20....+...30....+...40....+...50....+...60

A este bloque se hizo la prueba de partículas y se encontraba rajado en el puesto #9 donde va el tornillo de bancada, por lo tanto se le dio de baja.

JAVIER GONZÁLEZ. 06/08/00.

Se hizo inspección de partículas y se encuentran rajados 3 puestos de bancada. por lo tanto se le dio de baja.

JAVIER GONZÁLEZ. 05/31/00.

Este cigüeñal quedo bajo de tiempo por lo que no se termino todo el proceso.

---

---

**Camión:** 0220-166

**Motor:** 02211965

**Tipo:** MOTOR KTA50CJIPO PTH

**Horas reales:** 10987

**% de error:** Mejor proyección orden 3 con error de 1.23%

**Comentarios:**

## **KE024417**

Se desmonto B/B de levante para montársela al camión tanquero por orden del señor Luis Salcedo..OT.208944. 02-20-2000-...a1 ...coordinador ...Rafael Sardoth.... fue necesario cambiar el modulo de potencia.

## **Rd014677**

...10.....+...20.....+...30.....+...40.....+...50.....+...60

Este motor se desarmo por vida útil cumplida. Sus partes en movimiento se encontraron con desgaste irregular por trabajar con aceite contaminado.

ATTE. E. CHARRY.

## **10.3.2 DETROIT DIESEL**

**Camión:** 0220-011

**Motor:** 02211024

**Tipo:** MOTOR DIESEL.

**Horas reales:** 10118

**% de error:** Mejor proyección tipo lineal con error de 1.19%

## **ORDEN DE SERVICIO**

**KE025237** CAMBIO MODULO DE POTENCIA (TAREA CRITICA)

Se hizo arranque del motor según formato ITA 21. no se encontró nada anormal. se dio equipo disponible . J. ESCOBAR abril 16/00 a1.

Se cambio el modulo de potencia y se hizo revisión de salida, se soldó tapa del motor se hizo prueba de control en el turno A2 04/16/00

### **ORDEN DE RECONSTRUCCIÓN**

**RD014860** !Desarmar, evaluar motor 2211024 hr. 10118

Motor se bajo del equipo con 10.118hrs para cambiarle las líneas de potencia por tener bielas con fecha de fabricación "peligrosa". Al desmontarse se encontraron las mayorías de líneas con anillos de fuego pegados y/o partidos y algunos pistones con muestra de ligero recostamiento. También se desmontaron los sopladores por presentar golpes entre lóbulos. Se reviso la casqueteria encontrándose levemente rayada, el compresor con fuga de aceite y dos piñones de sincronización traseros con dientes en mal estado. \*\*\*PARCIAL\*\*\*\*

TECNICO: SIMON AVILA. E 05/08/00

---

**Camión:** 0220-055

**Motor:** 02211037

**Tipo:** MOTOR DIESEL.

**Horas reales:** 10789

**% de error:** polinomio de orden 3 con error de 17.54%

### **ORDENES DE TRABAJO**

**KE028797** CAMBIO MODULO DE POTENCIA (TAREA CRITICA)

Se reviso el equipo por cambio de modulo y se termino de instalar las cosas que hacían falta, se cambiaron filtros de aire, mangueras, se le cambio el refrigerante, se revisaron las al armas, se prendió el motor todo ok, pendiente hacer prueba motor y terminar el instructivo de arranque inicial, trabajo realizado por

O/Racero 22/10/00/A1

Se realizo prueba de potencia y no la dio al parecer por problema eléctrico, se revisaron mangueras de combustible filtros ok. Pendiente: bajar nivel de aceite motor, esta muy pasado. Repetir prueba de potencia. J. ESCOBAR 10/23/00.

Las OT de reconstrucción no se han cerrado a 2001-01-05 (OT# RD015925)

---

**Camión:** 0220-057

**Motor:** 02211907-1

**Tipo:** MOTOR DIESEL.

**Horas reales:** 11499.37

**% de error:** lineal 0.97% último ICM -0.03

## **ORDEN DE TRABAJO**

### **KE027883** CAMBIO MODULO DE POTENCIA (TAREACRITICA)

Presento alta presión cárter repetitiva, con 11.486 horas de trabajo en el equipo.

se cambio el modulo.

Las ot de reconstrucción no se han cerrado a 2001-01-05 (OT# RD015465)

---

**Camión:** 0220-078

**Motor:** 02211901-1

**Tipo:** MOTOR DIESEL.

**Horas reales:** 13774.50

**% de error:** lineal 5.96% último ICM -0.1

## **ORDEN DE TRABAJO**

### **KE028690** CAMBIO MODULO DE POTENCIA (TAREA CRITICA)

Se cambio modulo de potencia según STD.

Las ot de reconstrucción no se han cerrado a 2001-01-05 (OT# RD015686)

---

**Camión:** 0220-084

**Motor:** 02211041

**Tipo:** MOTOR DIESEL.

**Horas reales:** 7227.41

**% de error:** lineal 1.01% último ICM 0.04

## **ORDEN DE TRABAJO**

### **00190345 CAMBIO MODULO DE POTENCIA WABCO ESTERIL**

Se cambio el modulo de potencia. En el turno de S. Vergara se le monto el turno de W. BORJA lo termino.

## **ORDEN DE RECONSTRUCCIÓN**

### **RD013547 !Desacoplar modulo WAB Estéril #02211023 HR.79**

Se desacoplo el radiador, ventiladora, guarda. y se enviaron a sus respectivos talleres para su recuperación. Se desacoplo el alternador y se llevo a los eléctricos. El motor se paso a base y se llevo al patio.

### **RD013548 !Desarmar, evaluar motor 2211023 hr.798**

## **DESARME**

turbos con excesivo polvo

sopladores con aceite y tierra

2 inyectores pegados

culatas, corona, inyectores con carbón

anillo, camisas y casquetería de biela con desgaste irregular

bancada 4 con caquete fundido.

JUAN MANUEL QUINTERO

---

**Camión:** 0220-234  
**Motor:** 02211075-1  
**Tipo:** MOTOR DIESEL.  
**Horas reales:** 8104.99  
**% de error:** lineal 0.63% último ICM 0.05

#### **ORDEN DE TRABAJO**

KE028016: Sin comentarios

RD015500: Pendiente de entrar a proceso

---

**Camión:** 239  
**Motor:** 02211922  
**Tipo:** MOTOR DIESEL.  
**Horas reales:** 12815.61  
**% de error:** polinomio de orden 3 con error de 17.59%

#### **ORDEN DE TRABAJO**

**KE026739** CAMBIAR MODULO DE POTENCIA (VIDA UTIL)

Se cambia con 12812 horas de operación por vida útil cumplida y baja potencia repetitiva. se cambio modulo y se realizo prueba de potencia el equipo salió disponible este trabajo fue realizado por personal de CHM Javier Miranda a Arzuza a Pinto 06/30/00.

Se realizo prueba de potencia entregando los sig: valores:??????

**RD015186** !Desarmar, evaluar motor 2211922 hr.12815

motor bajado del equipo por baja potencia con 12.815 hrs. de operación.

#### **ANALISIS DEL DESARME:**

Turbos con presencia de polvo, lo mismo que los núcleos de los interenfriadores; los sopladores y las cámaras de aire con mucha tierra y aceite. Las culatas 5L,6L,7L y 8L Pegadas. Las camisas con mucho desgaste, lo mismo que las faldas; todas las líneas con anillos partidos y pegados. Los cojinetes de biela y bancada con excesivo desgaste, la mayoría con el cobre pelao.

-----Fechas de fabricación de las bielas-----

5 bielas sin fecha de fabricación

5 fabricadas en febrero 1989

4 bielas fabricadas en julio de 1987

2 bielas fabricadas en agosto del 98

Las demás partes presentan desgaste normal por vida útil cumplida.

Técnico: JOSE GOMEZ

---

---

**Camión:** 0220-244  
**Motor:** 02211022  
**Tipo:** MOTOR DIESEL.  
**Horas reales:** 12616.57  
**% de error:** lineal 5.62% último ICM -0.12

ICOR INTERCOR OPERACION CONJUNTA

**KE026531** CAMBIO MODULO DE POTENCIA (TAREA CRITICA)

...10.....+...20.....+...30.....+...40.....+...50.....+...60

Con 12571 horas de operación se remueve por romper el bloque trasero.

DOC : HEBERT DAVID PIMIENTA MEJIA. 06/19/00.

Se le cambio válvula solenoide de apagado motor, se cambio manguera cilindro aceleración, se calibro rpm en mínimas, retardo, máxima y tornillo tope de aceleración. Se prendió y ubico equipo en el área de pruebas . PENDIENTE: realizar prueba de potencia . J. ESOBAR junio 24/00 a2.

SE REALIZO PRUEBA DE POTENCIA.

HP=-7.23, RPM = -9.5 LOAD REF =-9.94 IM1=-4.31 IM2=-4.32

IMF=-5.10 VA=-5.12.

TEC: G. GUZMAN, VILLADIEGO. 06/25/00.A1

**RD015148** !Desarmar, evaluar motor 2211022 hr.125

se encontraron los inyectores, camisas y pistones con excesivo carbonamiento además con desgaste irregular en las líneas de potencia. El cigüeñal se encontró fundido, el bloque roto.

**NOTA:** este motor fue dado de baja

técnico JUAN MANUEL QUINTERO

---

**Camión:** 0220-246  
**Motor:** 02211902  
**Tipo:** MOTOR DIESEL.  
**Horas reales:** 11822.41  
**% de error:** orden 2 0.33% último ICM -0.02

**KE026532** CAMBIO MODULO DE POTENCIA (TAREA CRITICA)

Con 11784 horas de operación giro casquetes de bancada puesto #8; rompió línea 7R-7L.

DOC : HEBERT DAVID PIMIENTA MEJIA. 06/19/00.

**RD015150** !Desarmar, evaluar motor 2211902 hr.117

## **DESARME**

se encontraron turbos, inyectoras, líneas de potencia con excesivo carbonamiento se observó daño en casquetería puestos 6,7,8 y arandela de empuje delantera tapa; lo que originó una deficiente lubricación repercutiendo en la corona del pistón siendo esta la parte de más alta temperatura del motor, ocasionando agarrotamiento de la falda y partidura de la camisa

Técnico: JUAN MANUEL QUINTERO

### 10.3.3 CATERPILLAR CAT 793 - B

**Camión:** 0220-311  
**Motor:** 02211304  
**Tipo:** MOTOR PRINCIPAL CAT 3516/2160HP  
**Horas reales:** 11255.06  
**% de error:** 11.34% lineal  
**último ICM:** 0.10

### ORDEN DE TRABAJO

#### **KE027612** CAMBIAR MOTOR DE CAMION (TAREA CRITICA)

Cambio de motor por paso de agua al aceite, desviaciones en labor y down por demoras en remolque desde lavadero y espacio de taller. Retrabajos por alarmas eléctricas generadas por desarme avanzado de cables por cambio de bases del motor.

Gecolsa realiza las pruebas de salida del motor el 31/agosto, dando ok según esperado (especificaciones).

---

**Camión:** 0220-312

**Motor:** 02211311  
**Tipo:** MOTOR DIESEL CAT 3516 DE CAMION 240 793B  
**Horas reales:** 15495  
**% de error:** error de 1.4% con el polinomio de orden 2

### **ORDEN DE TRABAJO**

**KE025127:** Sin datos motivo desmonte.

---

**Camión:** 0220-313  
**Motor:** 02211314  
**Tipo:** MOTOR DIESEL CAT 3516 DE CAMION 240 793B  
**Horas reales:** 12816  
**% de error:** 1.36% lineal

### **ORDENES DE TRABAJO**

**KE026148** CAMBIAR MOTOR DIESEL DEL CAMION.

Se cambia motor por encontrar postenfriador con pedazos metálicos por válvula fogueada. Resulta mejor cambiar que desarmar para revisar. Demoras de 36 hrs aproximadamente por reparación de bases traseras de motor que presento grietas críticas con soporte izq. A punto de salirse. Se repararon otras grietas de chasis. El camión al salir presento vibración y se procedió a cambiar cardan.

Se siguió el procedimiento y se le realizaron pruebas.

---

---

**Camión:** 0220-314  
**Motor:** 02211308  
**Tipo:** MOTOR DIESEL CAT 3516 DE CAMION 240 793B  
**Horas reales:** 7919  
**% de error:** 25.72% orden 3  
**último ICM:** 0.40  
**Comentarios:** El motor nunca dio señales históricas de tener problemas.

## **ORDENES DE TRABAJO**

### **00194596 CAMBIAR MOTOR DE CAMION..**

Se cambiaron filtro de aire primario y se le colocaron nuevo por sugerencia de Gecolsa. julio 28/99 W. Herrera.

Julio 29/99:el técnico de Gecolsa lo sacaron a las 4:00AM

Motor se cambia por encontrar línea 6 con pistón roto y culata golpeada causada por válvula despinada (ver OT194268). Se aprovecha tiempo down para reparar grieta chasis con metalmecánica y después de instalado el motor se realiza PM 2000 hrs. Al salir disponible presenta emulsión de aceite hidráulico probablemente por enfriador de aceite de frenos traseros. Trabaja Gecolsa con OT 195697.

## **00194268** REV MOTOR RUIDO Y ALTA COMPRESION CARTER

Reportado en campo por bota aceite por tubo llenado, se completa nivel y queda funcionando con ruido. se opta por remolque al taller, al revisar se detecta puesto 8 con daño en corona pistón y desgaste adhesivo en leva de inyección. se decide desmontar motor para una mejor evaluación de los daños: posenfriadores, turbos, otras líneas. posible daño en otras líneas por partículas metálicas viajando en sistema de admisión de aire por defecto encontrado en lineal 8. Con esta OT se trabajo la instalada del tiro, el remolque y la devaluación inicial del motor.

---

---

**Camión:** 0220-315  
**Motor:** 02211310  
**Tipo:** MOTOR PRINCIPAL CAT 3516/2160HP  
**Horas reales:** 10923  
**% de error:** error de 0.03% con el polinomio de orden 3

## **ORDEN DE TRABAJO**

### **KE024548** CAMBIAR MOTOR DE CAMION..

se cambia componente por evidenciar baja potencia hace varios meses, se le han realizado varias revisiones, cambiado inyectores y no mejora. El contenido de metales de análisis de aceite muestra que tiene algún problema. Se cambia PTO

por ser original. No se cambia convertidor y bomba dirección por tener 10000 hrs. y no presentar problemas. El convertidor muestra buen comportamiento en VIMS. en turno conquistadores trabajo F. Mindiola operador de turno.

---

---

**Camión:** 0220-316  
**Motor:** 02211313  
**Tipo:** MOTOR PRINCIPAL CAT 3516/2160HP  
**Horas reales:** 13359  
**% de error:** error de 5.84% con polinomio de orden 3

**KE028156:** Sin datos motivo desmonte

---

**Camión:** 317  
**Motor:** 02211306  
**Tipo:** MOTOR PRINCIPAL CAT 3516/2160HP  
**Horas reales:** 13672  
**% de error:** 6.82% Lineal

### **ORDEN DE TRABAJO**

KE025944 CAMBIAR MOTOR (Queda con Fan Clutch).

Cambio por vida útil, se modifica soporte trasero del chasis de acuerdo a boletín técnico Caterpillar.

---

**Camión:** 0220-319  
**Motor:** 02211306  
**Tipo:** MOTOR PRINCIPAL CAT 3516/2160HP  
**Horas reales:** 11975  
**% de error:** error de 2.52% con la proyección Lineal

KE028798 CAMBIAR MOTOR DE CAMION (TAREA CRITICA)

Gecolsa hizo las pruebas del motor. Tenia la alarma Vims-Control motor error con FMI 12. Se reconfiguro completamente y desapareció la alarma.

---

**Camión:** 0220-320  
**Motor:** 02211318  
**Tipo:** MOTOR PRINCIPAL CAT 3516/2160HP  
**Horas reales:** 12817  
**% de error:** 2.62% con proyección Lineal

## **ORDEN DE TRABAJO**

### **KE028029 CAMBIAR MOTOR DE CAMION (TAREA CRITICA)**

Cambio de motor y bases traseras contratado 100% con Gecolsa, se realizaron pruebas de acuerdo a hoja commitment.

#### **10.3.4 CATERPILLAR 793 C**

**Camión:** 0220-327  
**Motor:** 02211327  
**Tipo:** MOTOR PRINCIPAL CAT 3516/2160HP  
**Horas reales:** 8332  
**% de error:** 9.55% Orden 3

## **ORDEN DE TRABAJO**

### **00189691 CAMBIAR MOTOR DE CAMION CAT240 793C**

Se cambio motor por vida. se instalo el 02211325, el Fan Clutch instalado es reparado por Rechid. el cable principal de motor que trajo es del tipo nuevo, por lo cual se le aplico antena desde el filtro salida de transmisión al interfase #1. contamos con labor de CHM y de Gecolsa por el cambio del motor.

Datos prueba motor BLOW-BY:

LTS/MIN EN MIN: 144

LTS/MIN MAX: 350

LTS/MIN A 1200 RPM CALADO: 355

TEMP. CILINDROS EN ALTAS RPM PROMEDIO 250 GR.

---

**Camión:** 0220-328  
**Motor:** 02211331  
**Tipo:** MOTOR PRINCIPAL CAT 3516/2160HP  
**Horas reales:** 10776  
**% de error:** 0.59% Orden 3  
**último ICM:** -0.03

#### **ORDEN DE TRABAJO**

**00200899** CAMBIAR MOTOR DE CAMION CAT240 793C

Cambio motor por caso ST02399???.....motor con antecedentes de paso de compresión a sistema de enfriamiento. Pruebas dinámicas de arranque de acuerdo al protocolo Idem realizado por Gecolsa. Montaje del motor realizado por Gecolsa, de allí la alta diferencia en labor.

---

**Camión:** 0220-329  
**Motor:** 02211332  
**Tipo:** MOTOR PRINCIPAL CAT 3516/2160HP  
**Horas reales:** 13382

**% de error:** 7.07% con proyección Lineal

## **ORDEN DE TRABAJO**

**KE029050:** No hay datos motivo desmonte

**Stock Code para motores Detroit:**

Stock code	Descripción	Tipo
1530732	Bomba de agua	Medio
1580315	Bomba de agua	Medio
1580307	Bomba de agua	Medio
1202696	Núcleo p post	Medio
1446772	Núcleo p post	Medio
1446764	Núcleo p post	Medio
64659	Bomba aceite	Medio
1417336	Bomba aceite	Medio
1313600	Bomba aceite	Medio
1472463	Turbo	Medio
1475177	Turbo	Medio
1475169	Turbo	Medio
1431716	Soplador	Medio
1431808	Soplador	Medio
1431832	Soplador	Medio
1431824	Soplador	Medio
107227	Culata	Grave
1417674	Culata	Grave
869917	Culata	Grave
1426733	Inyector	Medio
1433408	Inyector	Medio
1426741	Inyector	Medio
234054	Intercooler	Medio
1418631	Intercooler	Medio
1290931	Intercooler	Medio
1483106	Culata	Grave
1483155	Culata	Grave
1483148	Culata	Grave
775015	Enfriador	Medio
1421148	Enfriador	Medio
1290956	Enfriador	Medio
106740	Bomba	Medio
1417633	Bomba	Medio
1291129	Bomba	Medio
106823	Turbo	Medio
135806	Inyector	Medio
1291855	Inyector	Medio
1022318	Inyector	Medio
1421916	Inyector	Medio
1300532	Inyector	Medio
1202829	Inyector	Medio
1422781	Inyector	Medio
1290923	Inyector	Medio
1397090	Turbo	Medio
1429810	Turbo	Medio
1304971	Turbo	Medio
135996	Núcleo post	Medio

SCO	Descripción	Tipo
1417658	Turbo	Medio
1303866	Turbo	Medio
876953	Balancines	Grave
1421577	Balancines	Grave
1291715	Balancines	Grave
63115	Balancines	Grave
1417260	Balancines	Grave
1291723	Balancines	Grave
107011	Bomba	Medio
1417666	Bomba	Medio
1290980	Bomba	Medio
63388	Inyector	Medio
1417278	Inyector	Medio
1374164	Inyector	Medio
620773	Bomba	Medio
1420439	Bomba	Medio
1313972	Bomba	Medio
1631373	Enfriador	Medio
16313381	Enfriador	Medio
1631399	Enfriador	Medio
234799	Soplador	Medio
1418656	Soplador	Medio
1291756	Soplador	Medio
135954	Bomba	Medio
1417523	Bomba	Medio
121798	Bomba	Medio
1022326	Boba iny	Medio
1421924	Boba iny	Medio
1304617	Boba iny	Medio
603076	Boba iny	Medio
1420371	Boba iny	Medio
1304567	Boba iny	Medio
13182111	Boba iny	Medio
1423284	Boba iny	Medio
1397184	Boba iny	Medio
1304120	Turbo	Medio
621375	Turbo	Medio
1440031	Turbo	Medio
1313659	Turbo	Medio
620229	Pistones	Grave
67751	Anillos	Grave
135426	Casquetes	Grave
1287077	Válvulas	Grave
62554	Biela	Grave
62588	2 casquetes de biela	Grave
882001	Anillo para motor 16v149	Grave
62448	Casquetes de banc ada	Grave

1434430	Núcleo post	Medio
1434422	Núcleo post	Medio
1446053	Turbo	Medio
1472703	Turbo	Medio

62430	Juego de casquetes de	Grave
1303916	Inyector	Medio
1417815	Inyector	Medio

Stock code para motores  
Caterpillar

Stock code	Descripción	r/po repuesto
798736	Casquetes	Grave
798801	Casquetes	Grave
800284	Biela	Grave
800300	Camisa	Grave
1028109	Válvula	Grave
1032366	Casquetes	Grave
1032374	Casquetes	Grave
1032424	Casquetes	Grave
1032457	Casquetes	Grave
1622992	Casquetes	Grave
1626761	Válvula	Grave
1647999	Pistones	Grave
1650670	Casquetes	Grave
1657436	Anillo de pistón	Grave
1657444	Anillo de pistón	Grave
1657451	Anillo de pistón	Grave
1664705	Culata	Grave
1739499	Camisa	Grave
1664762	Bomba de agua	Medio
1850700	Inyectores	Medio
1876358	Bomba de aceite	Medio
1876481	Bomba de agua	Medio
1891902	Turbo	Medio
1891910	Turbo	Medio
1893288	Válvula wate gate	Medio
1739507	Pistones	Grave
1743442	Pistones	Grave
1809060	Pistones	Grave
1847532	Culata	Grave
1878180	Anillo de pistón	Grave
1878198	Anillo de pistón	Grave
1878206	Anillo de pistón	Grave
1901180	Culata	Grave
1901289	Pistones	Grave
1907898	Culata	Grave
1202183	Bomba combustible	Medio
1613066	Inyectores	Medio
1614148	Turbo	Medio
1614635	Turbo	Medio
1616606	Bomba de agua	Medio
1623263	Bomba combustible	Medio
1628098	Bomba de agua	Medio
1664754	Bomba de aceite	Medio
1901164	Inyectores	Medio
1901909	Turbo	Medio

1907914	Bomba de agua	Medio
1907922	Turbo	Medio
1907930	Turbo	Medio
1628064	Water pump	Medio

Stock code para motores Cummins:

Repuesto	Stock code	Tipo de repuesto
Bomba de agua	001530732,001580315,001580307	Medio
Bomba de agua	001203082,001446111,001446103	Medio
Bomba de comb	001220425,001422906,001290915	Medio
Bom inycu nue	1582311	Medio
Bomba aceite	000620773,001420439,001313972	Medio
Bomba de agua	000135954,001417823,001291798	Medio
Bom de in ptg	001022326,001421924,001304617	Medio
Bom de in pth	000603076,001420371,001304567	Medio
Bom de in stc	001318211,001423284,001391184	Medio
Inyector ptd	000135806,001417815,001291855	Medio
Inyector rdf	001022318,001421916,001300532	Medio
Inyector stc	001202829,001422781,001290923	Medio
Turbo antiguo	001397090,001429810,001304971	Medio
Turbocargador	001203116,001422773,001290907	Medio
Turbo stc	001446053,001472703,001304120	Medio
Enfr d aceite	000621375,001440031,001313659	Medio
Culata cummin	000067371,001417401,001303726	Grave
Pist.tortuga	620229	Grave
Camisas cummi	259036	Grave
Camisas cummi	135665	Grave
Anillos pisto	67751	Grave
Casquetes ind	135426	Grave
Pistón stc cu	1159599	Grave
Culat cu nuev	1606573	Grave
Válvula stc	1287077	Grave

**ANEXO B**

Límites máximos en el análisis

Cont	Al	B	C
Limit	8	1.2	0.4

Límites máximos permisibles en el análisis de aceite para motores Cummins

Cont	Al	B	C
Limit	3	1	0.4

Límites máximos permisibles en el análisis de aceite para motores Detroit

Cont	Al	B	C
Limit	5	1.5	0.5

Límites máximos permisibles en el análisis de aceite para motores Caterpillar  
793C

Cont	Al	B	C
Limit	5	1.2	0.4

Límites máximos permisibles en el análisis de aceite para motores Caterpillar  
793B

