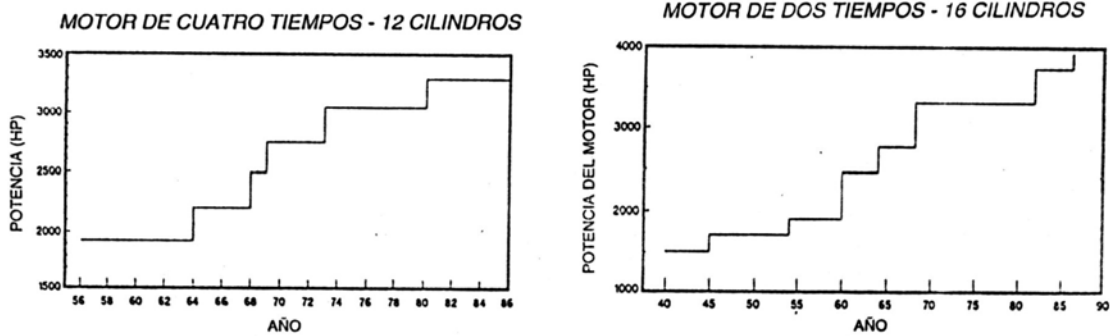


figura adjunta se ilustra el aumento de potencia logrado con el tiempo. A título de ejemplo, expresado en términos “por cilindro”, el incremento que se muestra en esta figura correspondiente al motor de dos tiempos corresponde un aumento desde aproximadamente 75 caballos por cilindro hasta alrededor de 250 caballos por cilindro, o sea aproximadamente el 233%.

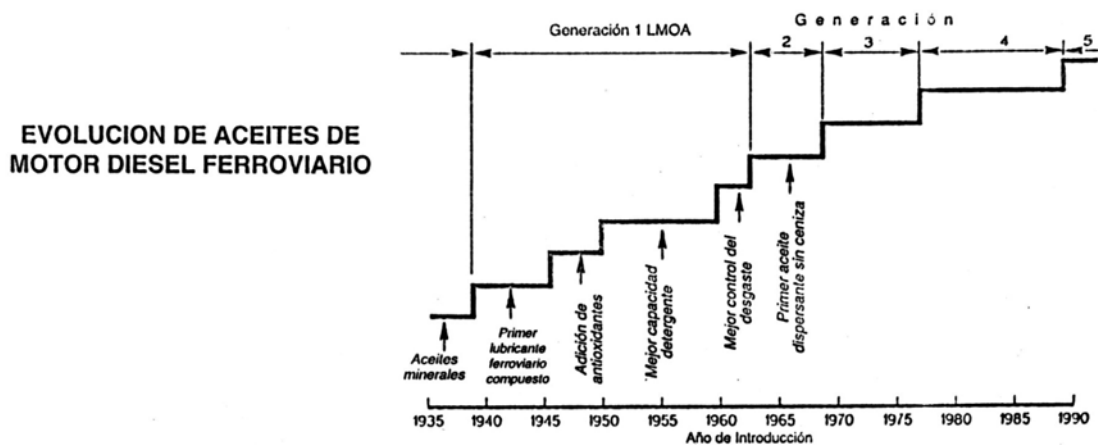


Durante ese mismo período, el aumento en el tamaño del cilindro ha sido tan solo del 41% aproximadamente. Para lograr estos aumentos de potencia, los motores han tenido que quemar mas combustible por carrera y quemarlo de manera mas eficiente (mejor combustión con menor pérdida térmica).

Como resultado, los motores han sufrido continuas modificaciones a fin de operar a presiones de cilindro y temperaturas cada vez mas elevadas, creando así mas esfuerzos en el lubricante.

Lubricantes:

A fin de enfrentar las mayores presiones y temperaturas, los lubricantes han tenido que mejorar a la par con los motores. La siguiente figura muestra un historial de los cambios ocurridos en los lubricantes. Las designaciones de Generación que se muestran en esta figura son las definidas por la Asociación de Oficiales de Mantenimiento de Locomotoras (LMOA), Comité de Combustibles y lubricantes. En los cuadros sub siguientes se definen estas designaciones.



DEFINICION DE ACEITE PARA MOTOR DE LOCOMOTORA DE GENERACION 5

Los aceites para motores diesel de locomotora serán reconocidas con calidad de Generación 5 si:

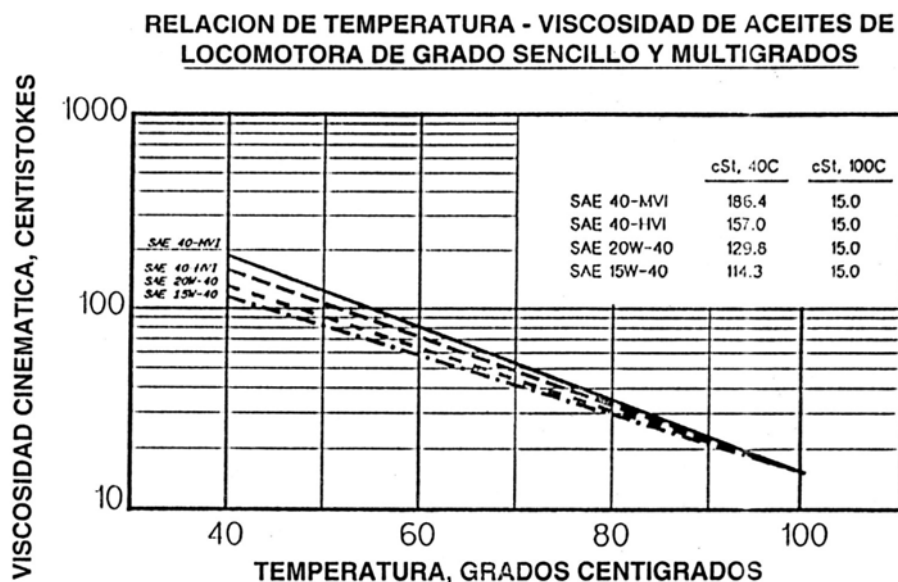
- Ofrecen cambios de aceite de 180 días mínimo para motores nuevos de bajo consumo de aceite, con recorrido medio de 10,000 millas al mes o que consumen combustible (0,3 a 0,5% azufre) al ritmo de 20,000 galones al mes.
- Pasan todas las pruebas críticas de oxidación, corrosión y fricción del fabricante original del equipo (OEM).
- Satisfacen los requisitos del OEM en las siguientes pruebas de motor:
 - EMD 2-567 de 25 horas
 - Caterpillar 1G-2 de 480 horas
 - GE 7FDL de 750 horas
- Se someten a prueba de servicio y son aceptados por GE y EMD.
- OEM = Original Equipment Manufacturer (Fabricante original del equipo)

ACEITE PARA MOTOR DIESEL FERROVIARIO DESIGNACIONES DE RENDIMIENTO

	Nivel de Dispersante	Nivel Detergente (TBN-D2896)
Generación 1	0	4-5
Generación 2	Moderado	7
Generación 3	Moderado	10
Generación 4	Alto	13
Generación 5	Alto	13 y más

Además de los requisitos necesarios para las categorías de Generación indicados en los cuadros, existen exigencias adicionales para lubricantes de las locomotoras diesel. Dos de dichas exigencias, que han significado importantes restricciones para el lubricante, se implantaron debido a los materiales y el diseño del motor de dos tiempos. Estos requisitos son un índice de viscosidad (VI) máximo de 75 y un contenido de cinc no mayor de 10ppm en el aceite acabado. La restricción sobre índice de viscosidad se impuso para obligar el uso de aceites de base nafténica. Es una restricción que surgió en los primeros días de los motores Diesel en las aplicaciones de ferrocarril, cuando los lubricantes usados consistían en aceites minerales que sólo contenían una pequeña cantidad de inhibidor de corrosión y oxidación. En aquel entonces, se observó que el carbono formado al oxidarse el aceite lubricante era principalmente nafténico y que estos depósitos menos densos se expulsarían de los orificios de admisión del motor de dos tiempos, debido al elevado flujo de aire en esa zona. Los depósitos no expulsados en los orificios de admisión restringen el flujo de aire del motor, ocasionando así una importante pérdida de potencia. Debido a que los aceites de base nafténica tienen un VI inherente bajo, en tanto el VI inherente de los aceites parafínicos es alto, la forma más fácil de garantizar el uso de aceites de base nafténica era imponer un límite máximo de VI.

El VI de un aceite es una indicación del cambio de viscosidad que experimenta dicho aceite con la temperatura. Al trazarse en papel de gráfica de viscosidad – temperatura de la Sociedad Americana para Pruebas y materiales (ASTM), los datos de viscosidad – temperatura forman una recta. En este tipo de gráfica, mientras mayor sea el VI, menor será la pendiente de la recta. La figura muestra el trazado de viscosidad comparado con la temperatura para cuatro aceites, un SAE 40 de VI mediano, un SAE 40 de VI alto, un SAE 20W – 40 y un SAE 15W – 40, todos mezclados a 15,0cSt a 100°C, o sea una viscosidad típica de un aceite para la locomotora diesel.



La restricción impuesta en el contenido de cinc fue el resultado del uso de cojinetes de pasador de émbolo con baño de plata. El baño de plata era necesario, ya que dichos cojinetes están constantemente bajo carga. Las primeras pruebas de aceite usando aditivos usando ditiofosfato de cinc, ampliamente usados en la mayoría de los aceites de motor como antioxidantes y agentes contra el desgaste eficaces, revelaron que estos aditivos son extremadamente corrosivos para los cojinetes plateados.

En 1979 se levantó la restricción de VI máximo de 75, después de la conclusión exitosa de pruebas de campo de lubricantes con elevado VI en importantes ferrocarriles Canadienses. Sin embargo, hasta mediados de la década de 1980 los principales ferrocarriles estadounidenses se opusieron al uso de aceites de elevado VI (HVI). El fabricante del motor de dos tiempos sigue restringiendo la aprobación de nuevos aditivos al tipo básico usado en las pruebas de servicio para ese aditivo.

Si bien se han eliminado los cojinetes plateados más críticos del motor de dos tiempos, ese motor sigue usando por lo menos un cojinete plateado en el turbocargador. Por ello, en vista de que las locomotoras con cojinetes de pasador de émbolo plateados siguen en operación y en vista también de tantos años de buen rendimiento de contenido de cinc, todavía no se ha levantado la restricción sobre el contenido de cinc ni es probable que cambie esta situación en un futuro próximo. Otra condición impuesta en el aceite es el resultado de los requisitos de inspección de locomotoras de la Administración Federal de Ferrocarriles (FRA). Todas las locomotoras deben ser inspeccionadas a intervalos (nominales) de 90 días. En consecuencia, los ferrocarriles (y por ende los fabricantes de locomotoras) desean que se cambie el aceite lubricante del motor en una de estas inspecciones. Dado que desde hace algún tiempo los períodos de purga de aceite habían excedido los 90 días, en tiempos recientes los ferrocarriles expresaron su deseo de extender los períodos de purga a 180 días por lo menos. Se toman muestras del lubricante del cárter a intervalos mas frecuentes, a fin de vigilar su condición. Los intervalos de muestreo varían de un ferrocarril a otro: algunos toman muestras con cada parada de reabastecimiento de combustible (aproximadamente cada 3 días), en tanto otros toman muestras en intervalos de hasta 5 o 6 semanas. Típicamente, los laboratorios de los ferrocarriles miden el TBN o pH más la viscosidad para determinar la condición del aceite. Los fabricantes de locomotoras han fijado límites de purga para el aceite del cárter usado en sus locomotoras con base en estas pruebas; típicamente, los límites son de 1-3 TBN mínimo o 30% de incremento en la viscosidad. Muchos ferrocarriles también han elaborado sus propios límites de prueba para el aceite lubricante, que incluso pueden ser mas exigentes que los del fabricante. Si se exceden estos límites de prueba antes de un cambio de aceite programado, la locomotora se envía al taller para un cambio de aceite de emergencia. Como es de suponer, esto ocasiona ciertos problemas y no es una práctica deseable.

Aceites multigrados:

GRADOS DE VISCOSIDAD SAE PARA ACEITES DE MOTOR

Grado de viscosidad SAE	Viscosidad (cP) a Temperatura (C) (Máx)	Temperatura* (C) límite de bombeo (Máx)	Viscosidad** (cSt) a 100 C	
			(Mín)	(Máx)
0W	3250 a -30	-35	3.8	—
5W	3500 a -25	-30	3.8	—
10W	3500 a -20	-25	4.1	—
15W	3500 a -15	-20	5.6	—
20W	4500 a -10	-15	5.6	—
25W	6000 a -5	-10	9.3	—
20	—	—	5.6	Menos de 9,3
30	—	—	9.3	Menos de 12,5
40	—	—	12.5	Menos de 16,3
50	—	—	16.3	Menos de 21,9
60	—	—	21.9	Menos de 26,1

*ASTM D 3829 o CEC L-32-I-82 para SAE 0W, 20W y 25W; ASTM D 4684 para SAE 5W, 10W y 15W.

**ASTM D 445

*Algunos fabricantes de locomotoras también recomiendan límites de viscosidad medida a 150C y 106 s-1.

El cuadro es un extracto de la norma SAE J300, Revisión 1987 y define los grados de viscosidad SAE para aceites de motor. El lector observará que los grados 0W, 5W, 10W, 15W, 20W y 25W (donde W indica un grado de invierno) se definen por viscosidades mínimas a temperatura alta (100°C), así como una viscosidad máxima y temperatura de bombeo máxima a ciertas temperaturas bajas (-5 a -35°C). Los grados 20, 30, 40, 50 y 60 se definen exclusivamente por una gama de viscosidad a alta temperatura (100°C). Por este motivo y también debido a la introducción de los mejoradores del índice de viscosidad (VII), es posible mezclar un aceite que cumpla tanto el grado de invierno SAE y un requisito de grado sencillo estándar. Por ejemplo, a -15°C, un aceite SAE 15W - 40 tiene una viscosidad, expresada en centipoise (cP), de 3500 o menos, una temperatura máxima de bombeo de -20°C o menos y una gama de viscosidad a 100°C de 12,5 a 16,3 centistokes (cSt).

Históricamente, los lubricantes de locomotoras diesel eran productos de grado SAE 40, ya que los fabricantes de las locomotoras usaban este grado durante las pruebas de desarrollo /modificación y algunas pruebas iniciales revelaron una protección marginal de los cojinetes del motor usando aceites de grado menos viscoso SAE 30. Sin embargo durante la crisis petrolera de la década de 1970, esta perspectiva cambió. Los vertiginosos aumentos en los precios del combustible diesel y por ende en los gastos generales de operación, despertaron gran interés entre el sector ferroviario en medidas de conservación de combustible y consecuentemente en los lubricantes de viscosidad multigrado. Los aceites multigrados venían usándose desde hace años en los vehículos de pasajeros con motores de gasolina y en los motores diesel de los camiones. Existía evidencia bien documentada que por lo menos en algunas locomotoras usadas en ciertos tipos de servicio, los aceites multigrados ofrecían una mejor economía en combustible y aceite, mejor arranque y mayor limpieza de motor.

Con base en el buen rendimiento del aceite multigrado en otras aplicaciones, los fabricantes evaluaron en sus locomotoras los aceites multigrados SAE 20W - 40 que contenían conjuntos típicos de aditivos diesel. Estas pruebas lograron ciertos beneficios en economía de combustible usando el aceite 20W 40 en comparación con un aceite SAE 40 con el mismo conjunto de aditivos.

Estos resultados prometedores condujeron a la prueba de servicio de aceites diesel ferroviarios de grado 20W - 40 en un importante ferrocarril canadiense y posteriormente en diversos ferrocarriles estadounidenses. Se observaron considerables ventajas de consumo de aceite tanto en servicio de locomotora ferroviaria y en motores tipo locomotora operando en servicio marítimo. Los ahorros en consumo de aceite fluctuaron entre un 13 y un 32% al usar un aceite 20W - 40, en comparación con un aceite monogrado.

Aditivos:

La formulación equilibrada de aditivos es crítica para producir lubricantes de alto rendimiento. A continuación se detallan los principales aditivos y sus características.

Dispersante:

- Reduce la acumulación de depósitos en el pistón.
- Controla el lodo y el barniz.
- Reduce el espesamiento del aceite a través de la dispersión del hollín.

Agentes antioxidantes – antidesgaste:

- Protección contra la corrosión de los cojinetes.
- Retardo del deterioro – espesamiento de aceite.
- Protección contra el desgaste del tren de válvulas.

Mejorador de viscosidad:

- Mayor facilidad en el arranque.
- Suministro de aceite más rápido a las piezas en movimiento.
- Protección del desgaste a temperatura ambiente.
- Reducción en el consumo de aceite.
- Economía de combustible.

Detergente inhibidor:

- Provee reserva de alcalinidad.
- Neutraliza los ácidos.
- Combate el desgaste corrosivo.
- Proporciona limpieza a alta temperatura.

Patologías:

Se describen a continuación las principales anomalías en el aceite así como sus posibles causas.

Viscosidad:

Alta viscosidad:

- Impide el buen funcionamiento del lubricante.
- Puede acelerar el desgaste y la corrosión.
- Podría dar lugar a filtros tupidos, anillos atascados o depósitos en los pistones.

Posibles causas del aumento de viscosidad:

Oxidación del aceite:

- Motor sobrecalentado.
- Excesivo intervalo en el cambio de aceite.
- Puede ser acelerado por metales de desgaste, especialmente por el Fe.
- Insuficiente calidad del aceite (baja calidad API).

Contaminación con refrigerante:

- Fuga en los sistemas de refrigeración.
- Puede aumentar la oxidación del aceite.

Insolubles:

- Hollines debido a mala combustión.
- Intervalo excesivo de cambio de aceite.

Aceite inapropiado:

- Se añadió un aceite de más alta viscosidad.

Baja viscosidad:

- Reduce el espesor de la película del aceite y su habilidad para impedir el contacto metal – metal.
- Una gran reducción podría dar lugar a fallas de cojinetes y/o aferramientos del pistón.

Causas posibles de la pérdida de viscosidad del aceite:

Dilución del combustible:

- Marcha prolongada sin carga.

- Inyectores de combustible defectuosos.
 - Tiempo de inyección inapropiado.
 - Conexiones sueltas, fugas de combustible.
 - Operación a baja temperatura.
- Cizallamiento del modificador de viscosidad:
- Acción de cizallamiento del motor.
- Aceite inadecuado:
- Se añadió aceite de más alta viscosidad.

Dilución por combustible:

Operación inapropiada del motor:

- Marcha prolongada sin carga.
- Inyectores, bombas o líneas de combustible defectuosas y tiempo de inyección inapropiado.

Pruebas de laboratorio:

- Punto de inflamación.
- Dilución por combustible.
- Viscosidad del aceite usado.
- Cromatografía de gas.

Contaminación por agua:

Producto de la combustión:

- Evaporada normalmente a las temperaturas del motor.
- Puede acumularse en el aceite durante la prolongada marcha sin carga u operación a baja temperatura.

Fugas de refrigerantes:

- En los bloques o culatas.
- Sallos o juntas en mal estado.
- Enfriadores de aceite defectuosos.

Pruebas de laboratorio:

- Análisis elemental (sodio, boro o silicio).
- Análisis de rayos infrarrojos.
- ASTM D95.

Presencia de insolubles:

- *Hollín:*

Su abundancia indica:

- Inadecuada relación aire – combustible.
- Inyectores defectuosos.
- Baja compresión.

- *Contaminantes externos:* polvo (silicio), suciedad.

- *Productos de la oxidación del aceite.*

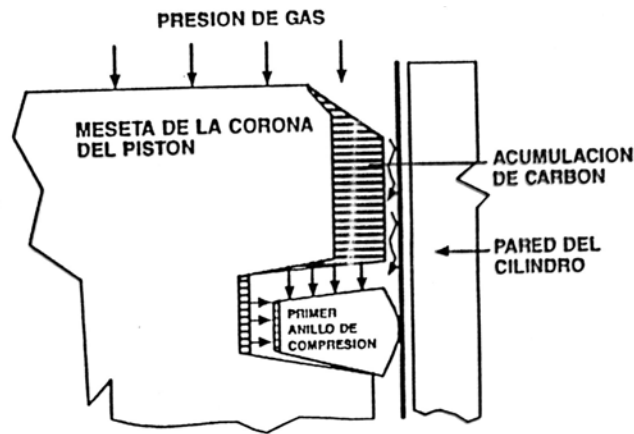
- *Depósitos originados por combinación de los insolubles anteriores* (lodos, etc.).

Tipo de depósito:

- Carbón en la ranura del pistón.
- Laca de color negro o ámbar en el pistón.
- Lodo en el cárter.

Efectos de los depósitos de la meseta de la corona:

- Rozan directamente con la camisa.
 - Raspan el aceite hacia adentro de la cámara de combustión.
- Perturban el sellado del anillo contra la ranura del pistón.
 - Ver en la figura la trayectoria de fuga de aceite por detrás de los anillos.



- Bloquean los gases de alta presión que contribuyen al sellado de los anillos.
 - Cambia la velocidad de bombeo del aceite detrás de los anillos.
 - Reducen las características de sellado de los anillos.

Efectos del Azufre del combustible Diesel:

- El azufre del combustible se quema para formar los ácidos que se mezclan con los gases de combustión.
 - Atacan las piezas del motor
 - Desgaste de anillos y cilindros.
 - Corrosión de los cojinetes.
 - Reaccionan con el aceite para producir:
 - Lodos.
 - Depósitos en los pistones.
- La reserva de TBN neutraliza estos ácidos e impide el daño.

Necesidad de TBN:

- Previene la corrosión del motor (herrumbre, desgaste).
- Neutraliza los ácidos para permitir que los aditivos funcionen.

Ver a continuación cuadro de correspondencia "elementos metálicos – órganos".

Cuadro de correspondencia "Elementos metálicos – Organos"

Elementos	Fe	Cu	Pb	Sn	Al	Cr	Si
	HIERRO	COBRE	PLOMO	ESTAÑO	ALUMINIO	CROMO	SILICIO
Organos							
Camisa	+						
Pistón		-			+		-
Eje de pistón - Eje de cabeza de biela	+						
Segmento	+	-				-	
Cigüeñal	+						
Cojinete de palier y de biela		+	+	+			
Casquillo de cabeza de biela y de pie de biela y de biela		+	-	-			
Arbol de levas	+						
Casquillo de los cojinetes de los árboles de levas		+	-	-			
Engranajes de la distribución	+						

- + Elemento importante
- Elemento secundario

Análisis típicos de aceites lubricantes:

- Viscosidad.
- Contenido de agua.
- Dilución en combustible.
- Contenido de insolubles.
- TBN.

Valores condenatorios de aceite lubricante de motores diesel:

- Viscosidad: superior al 10% ó inferior al 20%.
- Contenido de agua: 0,2% máximo.
- Dilución: 5,0% máximo.
- Insolubles en pentano: 2,0% máximo.
- TBN: disminución máxima del 30%.

A.F.E.																			
MEMORANDA	DE LABORATORIO	A:																	
No.	FECHA / /																		
A N A L I S I S																			
Unidad Nro.	Fecha de Recepción / /	Procedencia																	
<u>ACEITE LUBRICANTE</u>																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 25%;">VISCOSIDAD</th> <th style="width: 25%;">DILUCION</th> <th style="width: 25%;">AGUA</th> <th style="width: 25%;">T.B.N.:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;">A 100°F. S.S.U.</td> <td style="padding: 2px;">Metodo A.S.T.M.</td> <td></td> <td style="padding: 2px;">mg KOH/g.</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">A 210°F. S.S.U.</td> <td></td> <td style="text-align: center;">%</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">I. V.</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">%</td> </tr> </tbody> </table>	VISCOSIDAD	DILUCION	AGUA	T.B.N.:	A 100°F. S.S.U.	Metodo A.S.T.M.		mg KOH/g.	A 210°F. S.S.U.		%		I. V.			%			
VISCOSIDAD	DILUCION	AGUA	T.B.N.:																
A 100°F. S.S.U.	Metodo A.S.T.M.		mg KOH/g.																
A 210°F. S.S.U.		%																	
I. V.			%																
<u>AGUA DE REFRIGERACION</u>																			
Cromato de Sodio:		p.p.m.	p.H.																
OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES DEL LABORATORIO:..... <div style="text-align: right; font-size: small;">Ing. Químico Washington Viera</div>																			

Valores de referencia:

ANCAP - Super Diesel 40 (para locomotoras ALSTHOM y GE 1500):

Viscosidad: 100°C 15,1 cSt
 40°C 157,9 cSt

IV: 98

Punto de inflamación (en vaso abierto): 250°C

TBN: 12mg

PETROBRAS – Fairbracks (para locomotoras GE 2000):

Viscosidad: 100°C 14,5 cSt
 40°C 150 cSt

IV: 99

Punto de inflamación (en vaso abierto): 265°C

TBN: 17mg

Punto de escurrimiento: 18°C

Densidad a 20°C: 0,8458

Cenizas sulf. (% en peso): 1,9%