



Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas e Ingeniería
CATEDRA DE MAQUINAS TERMICAS
CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

Tema: Tribología

ACEITES LUBRICANTES

Un lubricante es un medio de separación de dos partes que se mueven una respecto a otra sometidas a rozamiento. Sus principales funciones son:

1. Impedir el contacto directo entre ambas y con ello disminuir el rozamiento y el desgaste.
2. Remover el calor, que originado en la combustión ha sido absorbido por los componentes metálicos y de cualquier otro calor generado en los cojinetes.
3. Cerrar herméticamente los lugares de rozamiento, particularmente entre los aros de pistón y sus ranuras de alojamiento en el pistón, evitando las pérdidas de la presión de combustión.

Adicionalmente, debe:

1. Prevenir la corrosión de los componentes internos del motor y mantenerlos limpios de sedimentos, lodos y barnices.
2. Minimizar los depósitos en la cámara de combustión.
3. Evitar la formación de espuma.
4. Facilitar el arranque.

Existen lubricantes sólidos, pastosos, líquidos y gaseosos. La elección se rige por los detalles constructivos, por el par de metales en contacto y por las sollicitaciones de los puntos de rozamiento.

Los lubricantes contienen aditivos que son sustancias activas que se añaden para mejorar sus propiedades.

Los aditivos pueden:

- a) Modificar las propiedades físicas (rebajan el punto de solidificación; mejoran el proceso viscosidad-temperatura).
- b) Conferir nuevas propiedades químicas (inhibidores de la oxidación y de la corrosión).
- c) Modificar la superficie de las piezas en rozamiento (modificadores de la fricción, sustancias antidesgaste, protectores contra el gripado o extrema presión).

Para evitar efectos antagónicos los aditivos deben ser apropiados entre si y con las sustancias contenidas en el lubricante.

Los aceites para motores sirven para la lubricación de las piezas de máquinas motrices de combustión que están en movimiento relativo entre si. Los aceites más usuales son los minerales con aditivos. A causa de las mayores exigencias a los aceites y los tiempos más largos de cambio de aceite, se utilizan cada vez más aceites sintéticos o parcialmente sintéticos (aceites obtenidos del hidrocracking). La calidad de los aceites depende:

- a) De su procedencia.
- b) De la refinación del aceite base.
- c) De sus aditivos.

Obtención de los Aceites

El petróleo consiste de cientos de tipos de hidrocarburos que van desde los muy densos (alquitranes, asfaltos) hasta los livianos o líquidos volátiles (benceno, heptano) más gases incoloros como el metano y propano. El petróleo destinado a la obtención de aceites está formado por hidrocarburos cuyas moléculas de tamaño medio contienen de 25 a 40 carbonos, que no son demasiado pesadas ni demasiado livianas.

Los modernos aceites para motor tienen base petróleo aunque también se emplean lubricantes con base vegetal o grasa animal.

El petróleo crudo es destilado con el objeto de separarle sus componentes más livianos, de los que se obtienen por sucesivos tratamientos y refinaciones: naftas, kerosene, gas oil y diesel oil. El residuo de esta destilación lo constituyen hidrocarburos pesados que reciben el nombre de “crudo reducido” y que se puede destinar a:

1. Extracción de aceites lubricantes
2. Craqueo para obtener mayor rendimiento de combustible livianos.

El crudo reducido es sometido a la destilación al vacío con el fin de poder separar los cortes lubricantes básicos. El vacío tiene como finalidad disminuir la temperatura de ebullición, de manera de no afectar a los compuestos más valiosos como lubricantes.

El crudo reducido es calentado en un horno y enviado a una torre de destilación en la que se hace el vacío mediante un sistema de eyectores de vapor.

En las salidas laterales se obtienen destilados que una vez refinados darán origen a los aceites base llamados “Spindle” y “Neutral”, este último en sus tres grados: liviano, mediano y pesado.

Del fondo de esta torre se extrae un residuo más pesado que el crudo reducido, y que no puede ser destilado sin alteración de sus propiedades, por lo cual es refinado con solvente en la unidad de desasfaltado.

La unidad de desasfaltado recibe como materia prima el producto de fondo de la torre de vacío, a partir de cual se pueden producir dos tipos de aceites desasfaltado: bright stock y cilindro, ambos de gran valor como aceites base para la preparación de lubricantes.

Es función de la unidad de desasfaltado separar las resinas asfálticas y otros componentes perjudiciales que afectan las propiedades de los aceites. Para lograr la separación se mezcla el producto de fondo de la torre de vacío con propano líquido, el cual provoca la separación del asfalto.

La unidad de refinación con furfural sirve para procesar diferentes lubricantes bases, eliminando de ellos compuestos aromáticos indeseables, que darían origen a resinas y lacas cuando el lubricante es sometido a condiciones severas de trabajo en los motores. Al mismo tiempo este tratamiento sirve para obtener lubricantes de superior índice de viscosidad.

El aceite base a refinar entra en las torres extractoras en contracorriente con furfural, sustancia química parcialmente miscible con los aceites minerales. Mediante un agitador el furfural se pone en íntimo contacto con el aceite y va extrayendo aquellos compuestos predominantemente aromáticos, de manera que cuando llega al fondo de la torre extractora, contiene un alto porcentaje de ellos. Como contrapartida, el aceite que sale por la parte superior ha sido despejado de tales compuestos, y solamente resta eliminarle el furfural que contiene.

Sigue una etapa de refinación que involucra la eliminación de las parafinas que en mayor o menor grado se encuentran en el petróleo, por medio de solventes especiales y baja temperaturas. Las parafinas deben eliminarse de los aceites con el objeto de que éstos se mantengan fluidos cuando trabajan a muy bajas temperaturas. Es sabido que las características de solubilidad de los solventes puros con respecto al aceite y la parafina no son convenientes para los fines de su separación, pero sí la mezcla de dos de ellos elegidos convenientemente. Por tal razón se emplea una mezcla de tolueno y metil etil cetona (MEK).

El tolueno asegura la completa solubilidad del aceite y gran fluidez cuando se la filtra para separarle la parafina. El metil etil cetona, es un compuesto parafínico “anti-solvente” que asegura la precipitación de las parafinas al enfriarse convenientemente la mezcla.

Posteriormente se recupera el solvente que ha quedado disuelto en ambas fases: aceite y parafina.

El proceso se completa con la unidad de percolación, moldeo y empaquetado de parafina, con la cual, además de un máximo rendimiento en lubricantes, se obtienen parafinas de alta pureza como sub-productos.

El último paso de la refinación de los aceites bases se denominan hidroterminado. El principal objeto de esta unidad es la eliminación del azufre y el mejoramiento de la estabilidad y la resistencia a la oxidación.

Esto se logra poniendo en contacto el aceite con gas hidrógeno en presencia de un catalizador adecuado, que facilita las reacciones químicas de desulfuración y la hidrogenación de vestigios de olefinas.

En el motor de combustión el aceite está fuertemente solicitado térmica y mecánicamente. Los datos de las características del aceite indican los límites de su uso, pero no especifican su capacidad de rendimiento. Por ello hay numerosos métodos de comprobación de los aceites para motores y organismos de normalización.

ORGANISMOS DE NORMALIZACIÓN

- **ACEA** (Association des Constructeurs Europeens d'Automobiles).

Ha reemplazado, desde 1991, al CCMC (Comite des Constructeurs de Marche Común). Fija la secuencia de ensayos de laboratorio y sobre bancos de motores.

- **SAE** (Society of Automotive Engineers).

Se propuso en los EE.UU. después de 1911. Clasificación de los aceites en función de la viscosidad en frío y en caliente. Esta clasificación se utiliza en todo el mundo.

- **API** (American Petroleum Institute).

Se publicó en los EE.UU a partir del año 1947. Clasificación según la severidad del servicio. Al comienzo, eran simples recomendaciones que se han vuelto verdaderas especificaciones.

- **ILSAC** (Internacional Lubricant Standarization and Approval Comité).

Controlada por API. Corresponde solamente a los aceites destinados a los motores de gasolina. Su especificación se establece conjuntamente para los EE.UU. y Japón. Es un comité integrado por Ford, General Motors Daimler Chrysler, la Asociación de Fabricantes Japoneses de Automóviles y la Asociación de Fabricantes de Motores.

- **ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCTORES DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES DE EUROPA.**

Los Criterios de homologación son: cenizas de sulfatos; contenido de zinc; tipo de motor (Otto o Diesel, aspirado o sobrealimentado); cargas sobre los distintos componentes del motor, los cojinetes y las transmisiones; efecto protector contra desgaste; temperatura de trabajo del aceite (temperatura de lodos); residuos de la combustión; capacidad de limpieza.

1. PSA Peugeot – Citroen.
2. Renault Automóviles.
3. VW + Audi (Tabla 1).
4. Daimler Chrysler.
5. Otros (Fiat, BMW, etc.) (Tabla 2).

Especificación Peugeot.

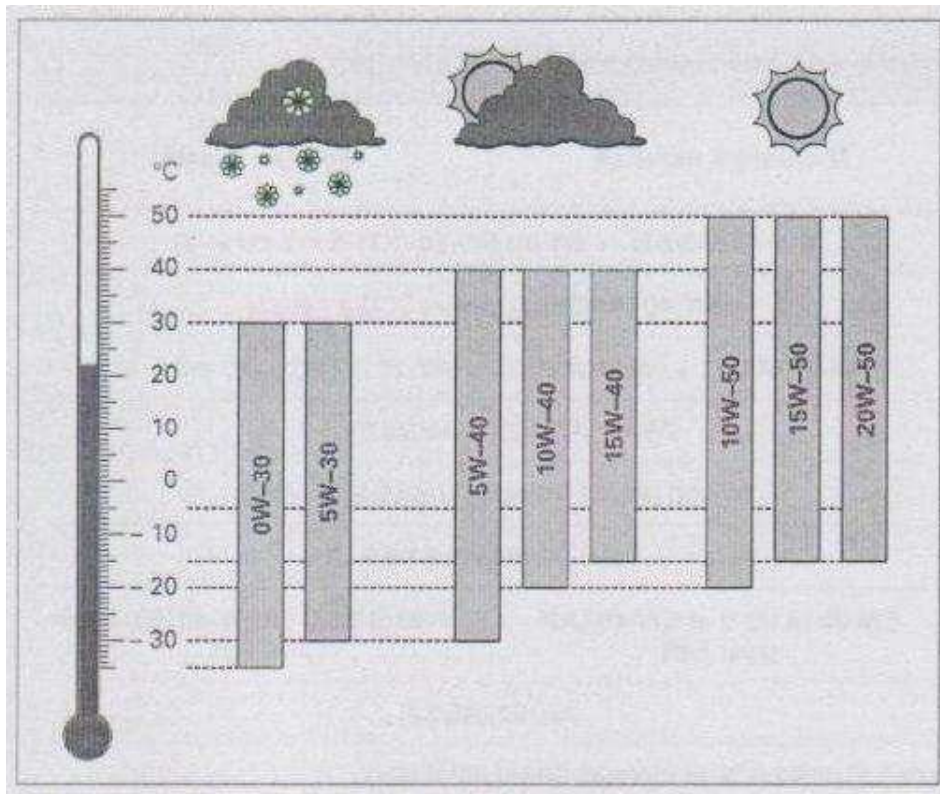


Tableau 1 – Spécifications VW d'huiles moteurs de service (en vigueur en 2001)					
Spécification VW	Date 1 ^{re} sortie	Moteurs (1)	Grades SAE	Niveau ACEA (ou CCMC)	Espacement vidange (km ou an)
501 01	03-83	Essence et Diesel IDI peu sévères	5W-30 à 50 10W-30 à 60 15W-40 et 50 20W-40 et 50	(D1/G2 → G4) → A2-96	Essence : 15 000 ou 1 an Diesel IDI : 7 500 ou 1 an
500 00	04-81	Essence et Diesel IDI peu sévères	5W-30 et 40 10W-30 et 40	(G3/D2 → G5) → A3-96	Idem 501 01
505 00	07-82	Diesel AN et Turbo	Idem 501 01	(PD-1 → PD-2) → B2 → B3	Diesel IDI : 7 500 Diesel DI : 15 000 ou 1 an
502 00	03-97	Essence	0W-30 et 40 5W-30 à 50 10W-30 à 60 15W-40 et 50 20W-40 et 20	A3-96 (remplace 500 00 et 501 00)	15 000 ou 1 an
505 01	04-99	Diesel DI à injecteurs pompes sans WIV	Idem 505 00	B3	15 000 ou 1 an
503 00	05-99	Essence éco carburant, avec WIV	0W-30 et 40 5W-30 et 40 10W-30 et 40	A1-98 + performance A3-98	30 000 max. ou 2 ans
503 01	07-99	Essence turbo. 1,8 L, 5 soupapes Audi TT, S3... avec WIV	Idem 503 00	A3-98	30 000 max. ou 2 ans
506 00	05-99	Diesel DI sauf injecteurs pompes, avec WIV	0W-30 et 40 5W-30 et 40 10W-30 et 40	B3-98 + B4-98	50 000 max. ou 2 ans, sauf 35 000/2 ans pour vans VW
506 01	10-00	Diesel DI avec injecteurs pompes, avec WIV	Idem 506-00	B3 + B4	50 000 max. ou 2 ans

(1) AN = aspiration naturelle ; DI = injection directe (Direct Injection) ; IDI = injection indirecte (préchambre) (Indirect Injection) ; WIV = indicateur de vidange (Longlife Service Indicator).

Tableau 2 – Huiles moteurs de première monte économiseuses de carburant					
Constructeur	Viscosité HTHS (mPa · s)	Volatilité Noack (%)	Type d'huile (1)	Moteurs à essence	Moteurs Diesel
BMW	> 3,5	< 13	Mixte	5W-40 (A3/B3) → 0W ou 5W-30 (HTHS ≈ 3 mPa · s)	
Fiat	> 3,5	< 13	Mixte	10W-40 (A3/B3) → Huiles ECO à l'étude	
Ford Europe	> 2,9	< 13	Mixte	5W-30 (A1/B1 + perfo. A3/B3) → 5W-20 (HTHS > 2,6 mPa · s)	
Mercedes	> 3,5	< 10	Mixte	5W-40 (A3/B3) → huiles ECO ?	
Opel	~ 3	< 11	Mixte	0W-30 (A1/B1 + perfo A3/B3/B4 → A5/B5)	
Peugeot-Citroën	2,9 à 3,5	< 13	Mixte	5W-30 (A1/A3/B1/B3)	
Renault	> 2,9 et < 3,5 ou > 3,5	< 15 ou < 13	E ≠ D (2)	5W-30 (A1/B1) et 5W-40 (A3) pour F4R	5W-30 (B1/B4) ou 5W-40 (B3) selon moteurs
VW	> 2,9	< 13	Mixte	0W-30 (A3/B4)	

(1) Huile mixte : convient pour moteurs à essence et Diesel – E ≠ D : huiles pour moteurs à essence et pour moteurs Diesel différentes.
(2) Dès 2003, Renault s'oriente vers des huiles mixtes 5W-30 A5/B5 pour la majeure partie de sa production.

■ ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCTORES DE VEHÍCULOS UTILITARIOS DE EUROPA.

1. Daimler Chrysler (Tabla 3) .
2. Volvo (Tabla 4).
3. MAN (Maschinen Fabrik Numberg).

Tableau 3 – Spécifications DaimlerChrysler pour moteurs Diesel de véhicules industriels et commerciaux												
Spécification MB Page n° (blatt)	Grades	Niveau ACEA	Essais moteurs au banc						Espacement de vidange (1) (2) maximal (km)			Observations (5)
			OM 602 A	OM 364 LA		OM 441 LA			Service sévère	Trafic courte distance	Trafic longue distance	
			Exigences croissantes de p. 227 à 228.5	Mérite mini propreté des pistons (6)	% surface des cylindres usée par polissage	Mérite mini propreté des pistons (6)	% surface des cylindres usée par polissage	Dépôts dans turbo. % perte de pression à 400 h				
227-0	Mono.	E1-96	Passe	35	≤ 6 %	-	-	-	5 000	10 000	15 000	Anciennes huiles « S3 » pour anciens moteurs AN (3)
227-1	Multi.								(10 000)	(20 000)	(30 000)	
228-0	Mono.	E2-96	Passe	40	≤ 3,5 %	-	-	-	10 000	22 500	30 000	
228-1	Multi.								(10 000)	(30 000)	(45 000)	
228-2	Mono.	E3-96 Issue 3 E5-99	Passe	45	≤ 1,0 %	25	≤ 2,0 %	≤ 4,0 %	20 000	45 000	75 000	Pour moteurs Euro 1 et Euro 2, conditions sévères et vidanges espacées
228-3	Multi.											
228-5	Multi.	E4-99	Passe	50	≤ 0,5 %	40	≤ 2,0 %	≤ 4,0 %	30 000	60 000	100 000	

(1) Sur véhicules récents, l'intervalle de vidange est contrôlé par un « système de service flexible » désigné « *Telligent* », qui intègre la qualité de l'huile, la teneur en soufre du gazole, la température d'huile, la vitesse et le nombre de démarrages à froid.

(2) Sur les véhicules possédant un équipement optionnel de graissage comportant un système de filtration fine et 10 litres d'huile supplémentaires, en trafic longue distance, l'intervalle de vidange maximal est porté à 80 000 km pour page 228-1, 130 000 km pour p. 228-3 et 160 000 km pour p. 228-5.

(3) AN = aspiration naturelle

(4) TC = turbocompressé

(5) Les spécifications MB comportent aussi des exigences supplémentaires en essais de laboratoire pour toutes les huiles : teneurs en zinc comprises entre 0,08 et 0,12 % ; % maximal des cendres sulfatées : 1,8 % pour p. 227 et 2 % pour toutes les pages 228-x ; résultats « passe » en essai de compatibilité sur joints Mercedes-Benz.

(6) La propreté d'un piston est évaluée après essais d'huile sur moteur, selon une cotation normalisée par le Conseil européen de coordination (méthode CEC M-02-A-78) ou selon une méthode propre à certains constructeurs. Il s'agit d'une technique bien au point qui consiste à traduire en chiffres (les plus répétables possible) les phénomènes de dépôts (d'oxydation, de cokéfaction...) et d'usure des pièces moteurs (pistons notamment). Pour chaque procédure d'essai, les constructeurs établissent un barème de coefficients leur permettant de calculer une note globale de mérite de propreté de piston. Celle-ci est généralement calculée sur 100 points mais elle peut aussi être établie sur un total différent (60 par exemple dans le cas de Mercedes).

Tableau 4 – Spécifications Volvo AB d'huiles longue durée pour moteurs Diesel de véhicules poids lourds (Volvo Drain Specification)					
Spécification		VDS	VDS-2		VDS-3
Date d'introduction		Année 1970, dernière évolution : 1985	92-94 transitoire	Fin 1995	2000-2001
Grades SAE		5W-30 (synth.)	5W-30 et 40		5W-30 et 40
		10W-30	10W-30 et 40		10W-30 et 40
		15W-40	15W-40		15W-40
Niveau de performance minimal	CCMC	-	D4		-
	ACEA	(≈ E2)	E3		E5
	API	CD → CE → CG-4	CG-4		CH-4
Essais moteurs sur flotte de 3 camions minimum (1)	Type moteur	TD 120 A à TD 121 F	TD 123	D12/D12 A/C/D (4)	
	Norme émission	-	Euro 1 et Euro 2		Euro 3
	Durée d'essai (km)	300 000	300 000		300 000
	Vidange (km)	50 000	60 000		100 000 ou 75 000 (3)
Espacement de vidange (2)	km	30 000 à 60 000	45 000 à 75 000		Jusqu'à 90 000
	Litres de gazole	20 000	25 000		30 000

(1) Inspection par Volvo des moteurs et des échantillons d'huile : dépôts de piston, usure par polissage des cylindres, usure des segments, épaissements d'huile, etc.

(2) Selon type de moteurs et type de service.

(3) Vidange à 100 000 km pour camions de moins de 44 t et 75 000 km pour camions de 44 à 60 t.

(4) Le moteur D12 D a remplacé le moteur D12 C début 2002.

■ CONSTRUCTORES DE VEHICULOS DE EE.UU.

La mayoría adoptan las especificaciones API e ILSAC con recomendaciones propias.

1. Caterpillar.

2. Cummins.
3. GM.
4. Deere, etc.

Solo la firma Mack fija especificaciones propias (EO-M y EO-N).

■ ESPECIFICACIONES MILITARES

Establecidas por las Armadas Nacionales o la OTAN.

La armada de los EE.UU. emplea las siglas MIL.

- MIL-L (Military Lubricant).
- MIL-PRF (Military Performances Requirement Fluid).

CLASIFICACION SAE

Originalmente los aceites para motor y sus diferentes grados se diferencian por números, siglas o nombres propios dados por esos fabricantes, que no guardaban ninguna relación unos con otros.

Una vaga identificación que se empleó en un comienzo los designaba como livianos, medios o pesados.

Esta dificultad fue superada por un sistema especial de clasificación desarrollado por SAE (Society of Automotive Engineers), una sociedad que nació en los Estados Unidos en el año 1905 y que en la actualidad forma parte de una red mundial integrada por casi 100 países, siendo la principal fuente de información e investigación relacionada con vehículos para uso terrestre, marino, aéreo o espacial.

El “sistema de clasificación SAE” se estableció con el propósito de eliminar la anarquía de denominaciones en los aceites. Para esto tomó como base una de las propiedades más importantes que caracteriza a un lubricante: su VISCOSIDAD.

La viscosidad de los líquidos en general y de los aceites en particular varía con su temperatura y esta variación no es lineal, responde a una fórmula:

$$\mu = \frac{K}{t_n}$$

en la cual K y n dependen de la naturaleza del líquido. Para compuestos determinados, la viscosidad aumenta exponencialmente con el peso molecular y para un peso molecular dado, la viscosidad aumenta al incrementarse la ramificación de la sustancia o el grado de ciclación, aumentándose también por transformación de la estructura benceno en nafténica.

La viscosidad de los gases disminuye con el peso molecular y a la inversa de los líquidos aumenta con la temperatura y la presión.

■ TEMPERATURA DE REFERENCIA: 99°C (210°F).

Teniendo en cuenta la temperatura de marcha normal de los motores se eligió 99°C (210°F) como temperatura de referencia. Fijada ésta, se optó por crear una escala de viscosidad que incluyera a todos los aceites disponibles en el mercado. Para limitarla se tomó como valor superior la viscosidad del aceite más pesado de plaza y como límite inferior más liviano, dejando establecido que las viscosidades correspondientes a los demás quedarán comprendidas dentro de aquellos límites.

Se dividió el rango total de viscosidad de aceite para motor en grupos designados por cinco números arbitrarios:

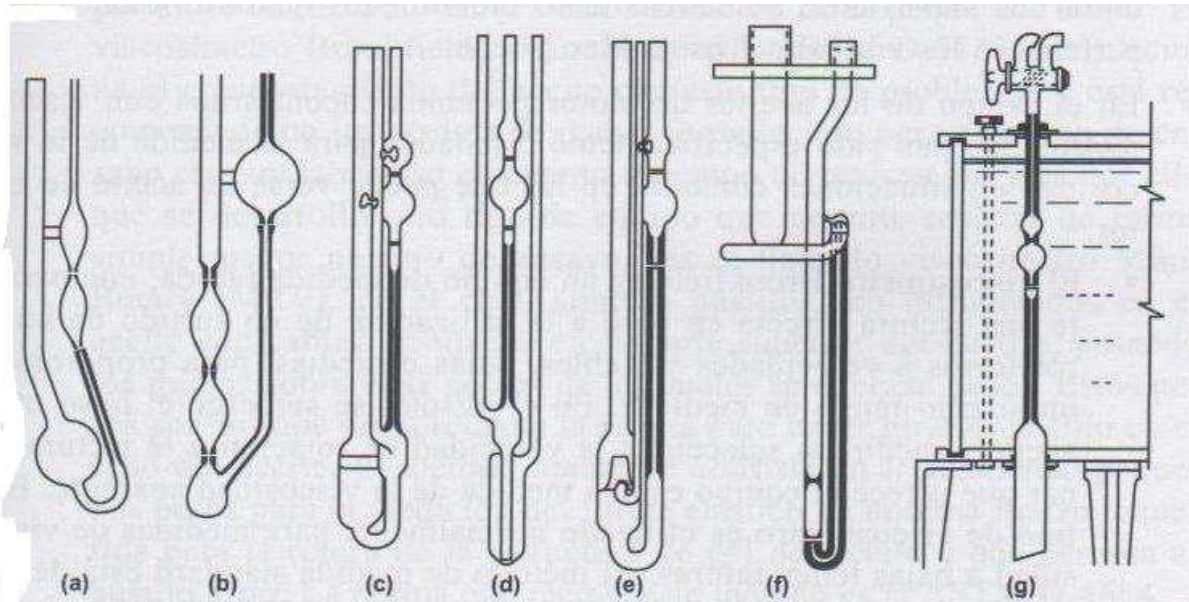
20 – 30 – 40 – 50 – 60

Se realizan dos mediciones:

- BAJO DÉBILES VELOCIDADES DE DEFORMACIÓN.

Efectuada con un viscosímetro de tubos capilares.

Método de ensayo: Norma ASTM D445.

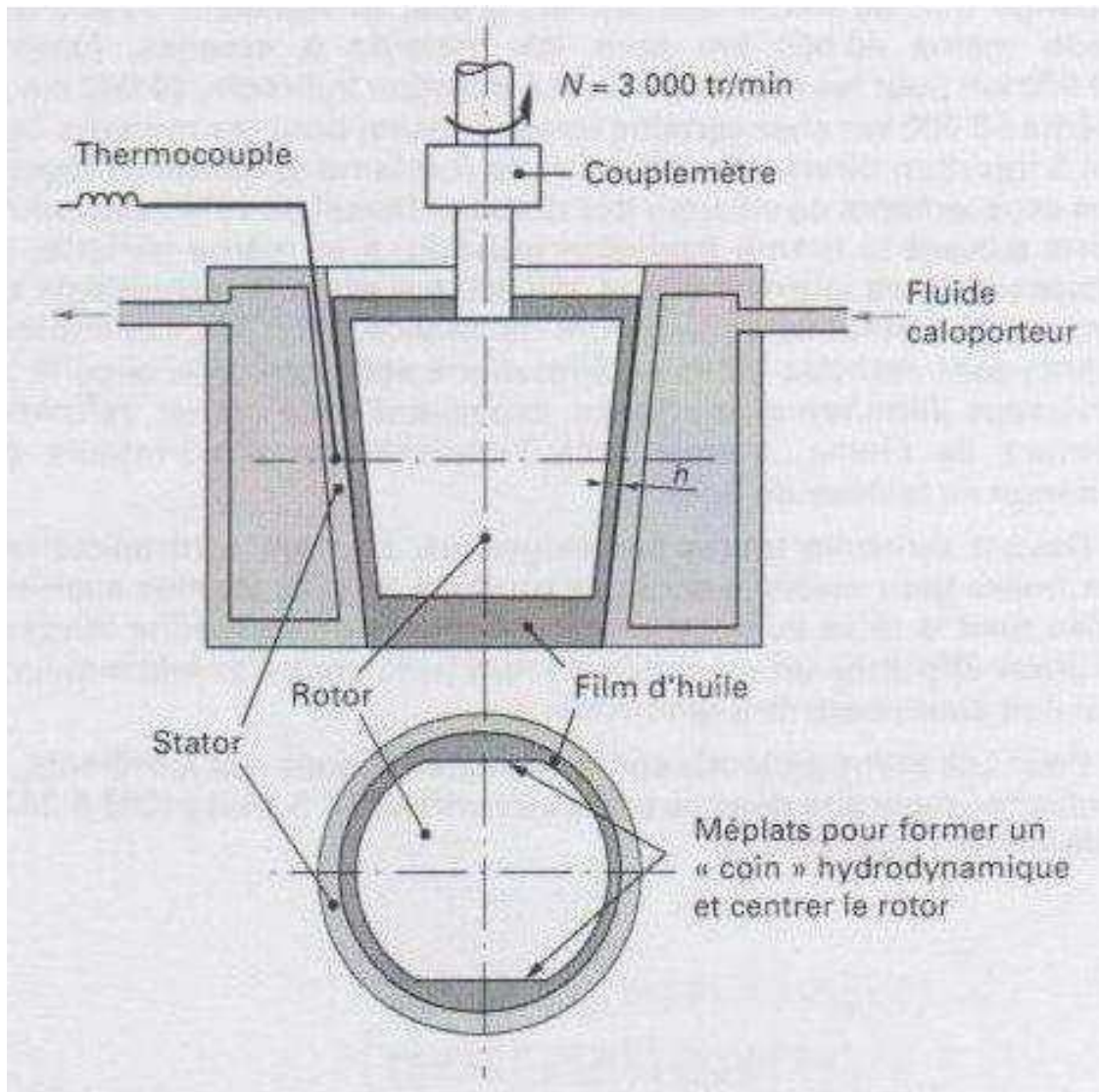


Varios tipos de viscosímetros capilares. a) Cannon-Fenske (líquidos transparentes), b) Cannon-Fenske (líquidos opacos), c) Ubbelohde, d) FitzSimons, e) SIL, f) Zeitfuchs, g) Atlantic.

Se emplea un viscosímetro de tubos capilares de Ostwald o Ubbelohde. La viscosidad cinemática es igual al tiempo de escurrimiento por la constante del aparato.

- A ELEVADA TEMPERATURA Y ELEVADO ESFUERZO DE CIZALLAMIENTO HTHS (High Temperatura - High Shear).

Medida con un viscosímetro TBS (Tapered Bearing Simulator) a 150 °C denominado viscosímetro “Ravenfield”.



■ **TEMPERATURA DE REFERENCIA: -18°C (0°F). ESCALA AMPLIADA.**

Como la viscosidad de los aceites cambia con la temperatura, todos ellos aumentan su viscosidad cuando se enfrían. La viscosidad máxima dada por el simulador de arranque en frío del cigüeñal es aquella que excedida provocará que el motor de arranque y la batería no tengan la capacidad de alcanzar la velocidad de rotación adecuada para producir el encendido del motor.

Por el contrario si el aceite es liviano para mejorar el arranque, se podría alivianar aun más con el motor caliente (aún en invierno), además el consumo de combustible puede volverse un problema y es posible que pueda producirse un contacto metal con metal con sus desastrosos efectos.

Como la clasificación original a 99°C (210°F) no contemplaba la gran variación de viscosidad de los aceites, se decidió ampliar la escala, introduciendo una clasificación adicional basada en la viscosidad medida a -18°C (0°F).

El rango se dividió en seis grupos también designados por números arbitrarios:

0W – 5W – 10W – 15W – 20W – 25W

El sufijo W significa “invierno” (W = Winter).

Se realizan dos mediciones:

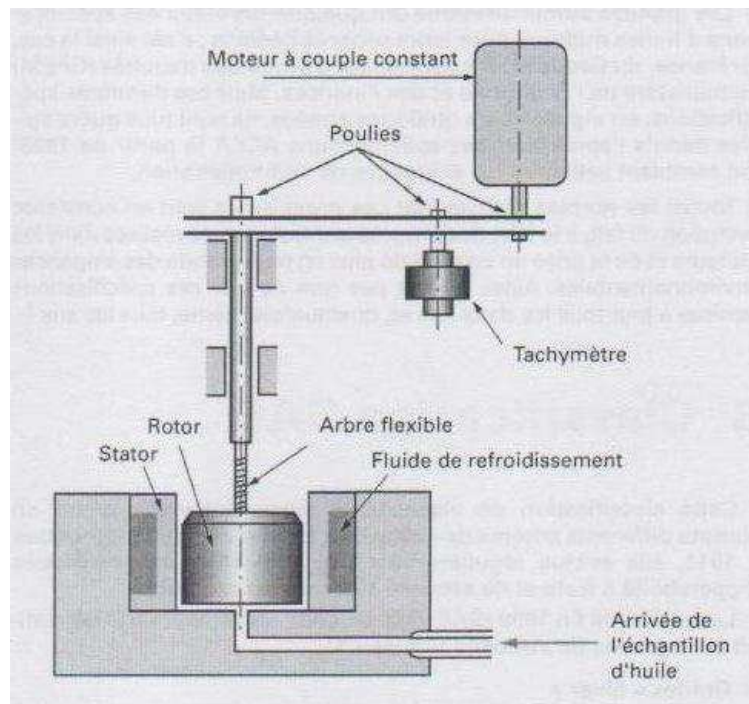
- VISCOSIDAD DE ARRANQUE EN FRÍO.

Medida sobre un viscosímetro dinámico rotativo llamado “Cold Cranking Simulator” (CCS) o “simulador de arranque en frío”. Diseñado para definir los grados de viscosidad en invierno.

Método de ensayo: Norma ASTM D-5293.

Simula el fuerte cizallamiento del aceite en los gorriones de bancada y biela durante la fase de giro del cigüeñal mediante el motor de arranque.

Emplea un rotor cilíndrico que se introduce en forma muy ajustada dentro de un estator. Mediante un motor eléctrico se aplica una cupla constante al rotor. La velocidad de rotación se relaciona con la viscosidad mediante una calibración previa con un aceite patrón.



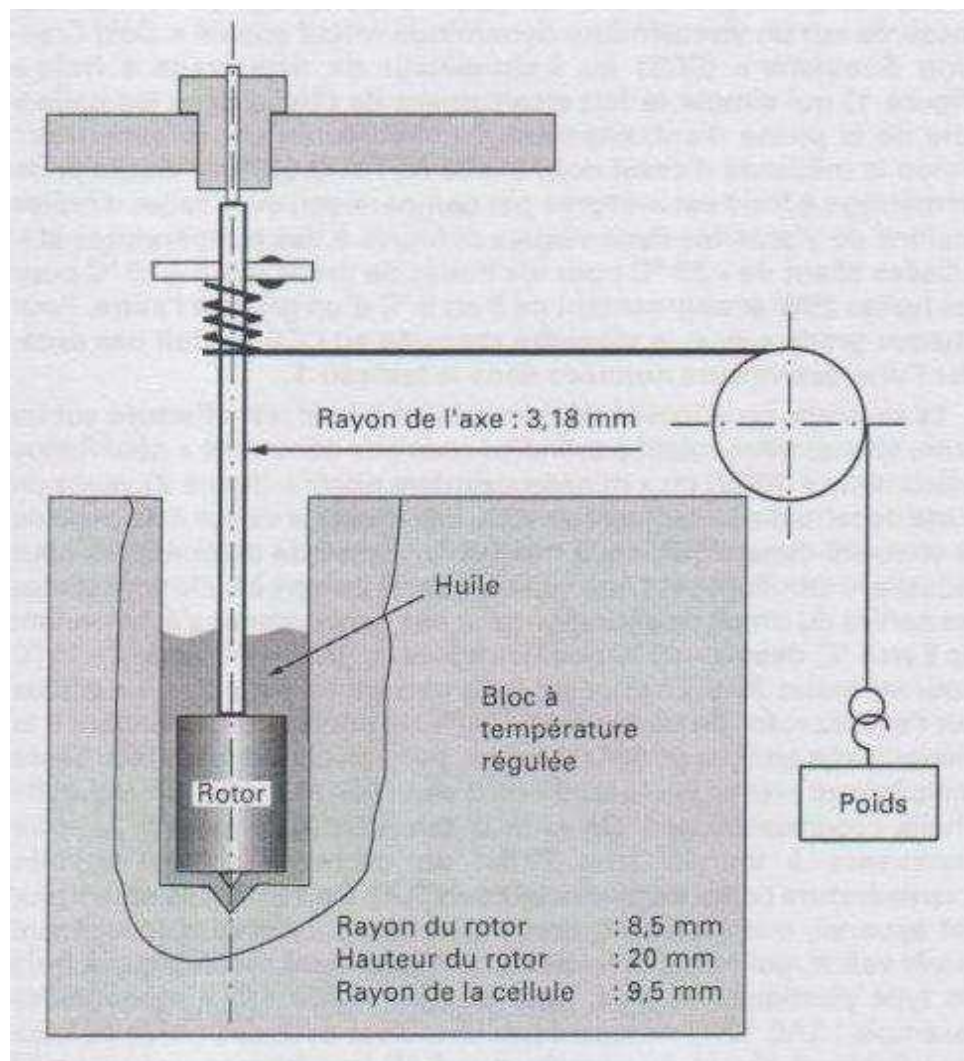
- VISCOSIDAD DE BOMBEABILIDAD.

Medida con un viscosímetro rotativo de cilindros coaxiales denominado “Mini Rotary Viscosimetre” (MRV) o “mini viscosímetro rotativo”.

Método de ensayo: Norma ASTM D-4684.

Mide la viscosidad a baja temperatura y bajo esfuerzo de corte. Predice la probabilidad de “AIR BINDING”. El aceite del motor puede congelarse y no circular por la bomba en el momento del arranque. La bomba bombea aire lo que puede provocar daños severos en el motor.

El viscosímetro utiliza husillos que se introducen en el aceite y cables enrollados en la parte superior del husillo que pasan por poleas y de los cuales se cuelgan pesos que proporcionan la fuerza de giro del husillo sumergido en el aceite. Con el agregado de pequeños pesos se determina la fuerza mínima necesaria para romper la estructura congelada del aceite y hacer gira el husillo.



La clasificación SAE de los aceites se oficializó en el año 1962 como SAE J300. Sus valores son revisados periódicamente en función de los requerimientos de equipos y propiedades de los lubricantes. En marzo de 1993 se hizo una revisión de acuerdo con las necesidades militares; más reciente y posteriormente, en los años 1997 y 1999, se sometió a nuevas revisiones, ésta última es la indicada en la tabla.

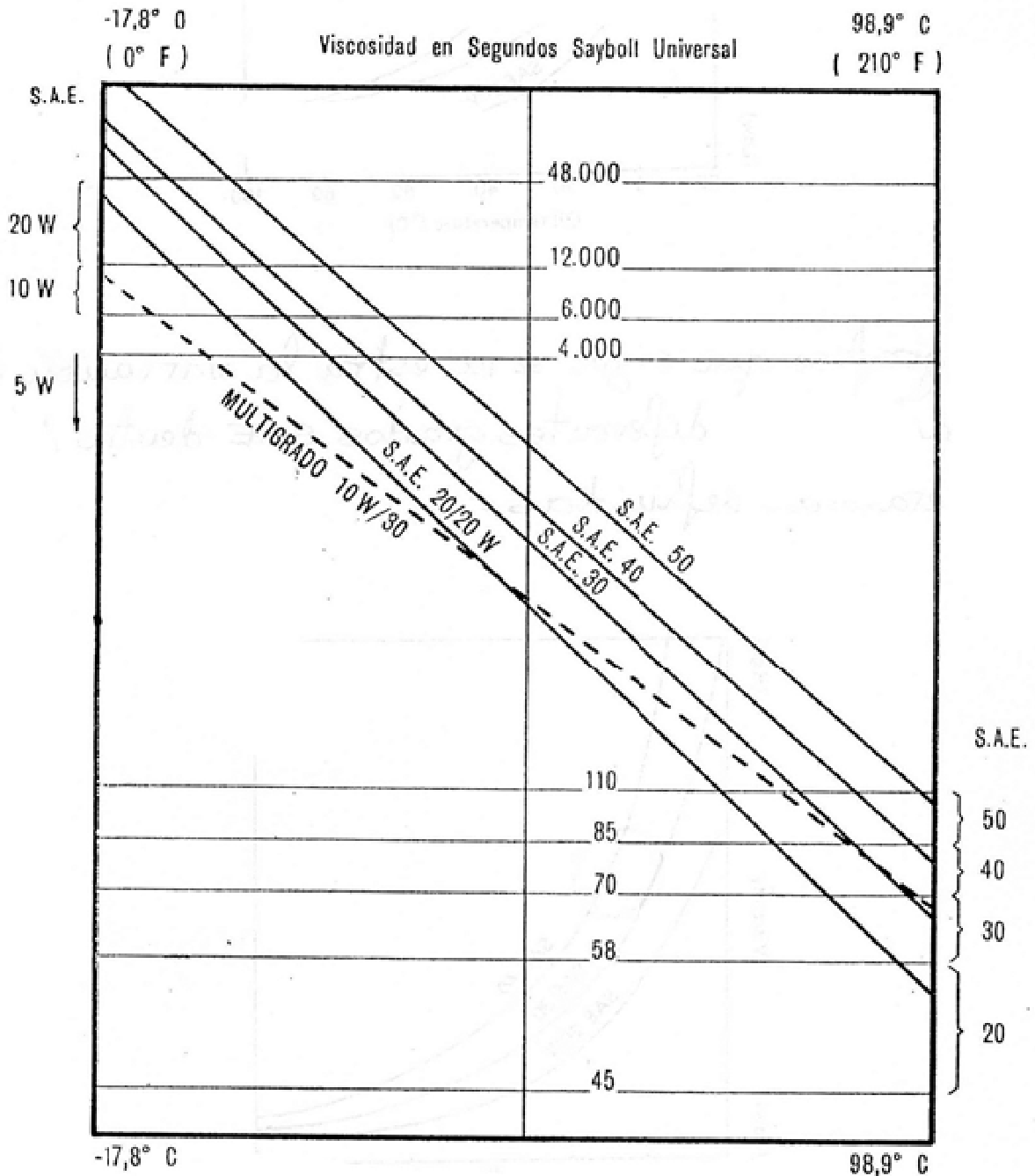
CLASIFICACION DE VISCOSIDADES EN ACEITES PARA MOTOR SAE J 300 DIC. 99					
	GRADO VISCOSIDAD SAE	°C C.C.S. VISCOSIDAD cP Max.	°C BOMBEO VISCOSIDAD cP Max.	VISCOSIDAD DINAMICA cSt a 100 °C	HT/HS AT/AC VISC. cP a 150 °C
VISCOSIDAD A BAJA TEMPERATURA	0W	6200 a -35	60000 a -40	3.8 --	--
	5W	6600 a -30	60000 a -35	3.8 --	--
	10W	7000 a -25	60000 a -30	4.1 --	--
	15W	7000 a -20	60000 a -25	5.6 --	--
	20W	9500 a -15	60000 a -20	5.6 --	--
	25W	13000 a -10	60000 a -15	9.3 --	--
VISCOSIDAD A ALTA TEMPERATURA	20	--	--	5.6 a 9.3	2.6
	30	--	--	9.3 a 12.5	2.9
	40	--	--	12.5 a 16.3	2.9*
	40	--	--	12.5 a 16.3	3.7**
	50	--	--	16.3 a 21.9	3.7
	60	--	--	21.9 a 16.1	3.7

Ref: (*) Para los grados 0W-40, 5W-40 y 10W-40
(**) Para los grados 15W-40, 20W-40, 25W-40 y 40

El grado SAE no representa “calidad del aceite”. Puede ser un aceite bueno o malo el que corresponde a un número SAE determinado.

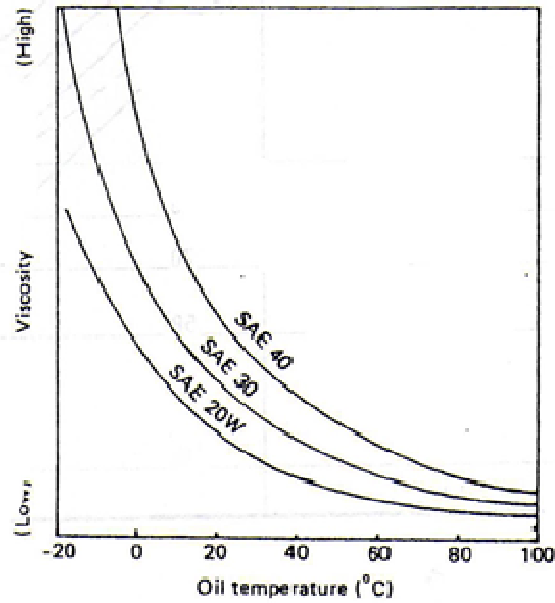
Un buen aceite de motor deberá trabajar correctamente dentro de toda la gama de temperaturas a las cuales funciona el motor. A temperaturas elevadas, trabajando el motor en régimen, la viscosidad del aceite no podrá caer mucho, debiendo ser tal que la película formada entre dos superficies metálicas en movimiento no se rompa, evitando así que se produzca el contacto metal con metal.

Así mismo, en el otro caso extremo, con el motor parado, en épocas invernales, la viscosidad del lubricante no deberá ser muy elevada por las razones dadas anteriormente; además, en el momento del arranque, la bomba de aceite deberá ser capaz de suministrar la adecuada lubricación a los distintos puntos del motor.



En el gráfico que sigue se muestra la variación de la viscosidad de tres diferentes grados SAE dentro del rango de temperaturas definidas.

En la época en que se introdujo la clasificación de viscosidades SAE, ninguno de los lubricantes disponibles en el mercado era capaz de cumplir simultáneamente con los requerimientos de las escalas a -18°C y 99°C (0°F y 210°F). Era necesario emplear diferentes grados de aceite para invierno y verano.

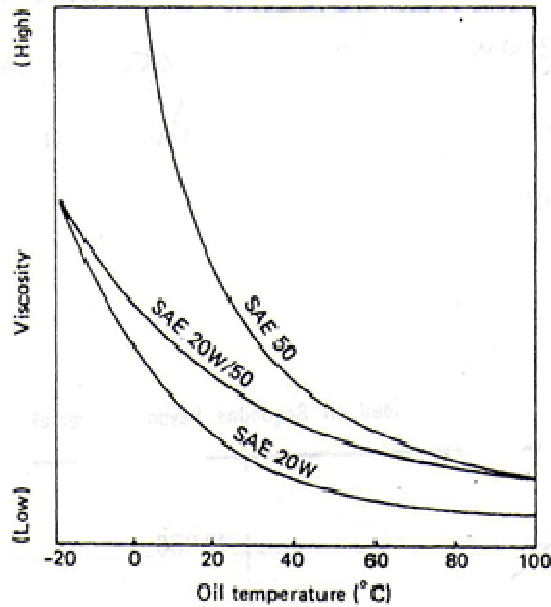


La evolución de la tecnología, las nuevas técnicas de refinación de básicos para lubricantes y los diferentes tipos de aditivos desarrollados, permitieron formular aceites cuya viscosidad varía tan poco con la temperatura que les permite cumplir con ambas escalas. Tales aceites se conocen con el nombre de MULTIGRADOS.

Con el empleo de un aceite multigrado se asegura una correcta viscosidad en plena marcha y un arranque más fácil a bajas temperaturas.

Un aceite designado 20W/50 cumple los requerimientos de SAE 20W a -18°C y los requerimientos de SAE 50 a 99°C , es por lo tanto, un aceite multigrado, el cual se indica en el gráfico.

Los aceites multigrado realmente no se espesan cuando se calientan y tampoco sufren una caída de la viscosidad con el aumento de la temperatura lo que normalmente debería ocurrir con los aceites obtenidos por refinado de petróleo.



Con lubricantes comunes provenientes del petróleo el aceite está estructurado principalmente por moléculas de hidrocarburos que permanecen en constante movimiento. Cuando se calientan, la energía interna se incrementa porque las moléculas vibran a mayor frecuencia, moviéndose más rápido y disponiéndose más separadas entre sí. Esto hace que la fricción interna de una molécula moviéndose contra las otras se reduzca y el lubricante se vuelva más fluido.

Para mantener la viscosidad con el aumento de la temperatura debe reducirse el movimiento de las moléculas.

Los químicos crearon los aceites multigrado mediante el agregado de mejoradores del índice de viscosidad a los aceites básicos refinados del petróleo.

Los mejoradores del índice de viscosidad normalmente son polímeros orgánicos, proveniente de la familia de los “acrilatos plásticos” solubles en aceite, con pesos moleculares comprendidos entre 10.000 y 1.000.000.

Estas moléculas gigantes presentan una larga cadena que a baja temperatura se encuentran enrolladas de modo que ocupan un espacio ligeramente mayor al de cualquiera de las moléculas del hidrocarburo que constituye el aceite moviéndose libremente dentro de la masa líquida, de modo semejante al conjunto de las moléculas de los hidrocarburos.

A medida que la temperatura aumenta las moléculas del polímero se van desarrollando de modo que ocupan más espacio, restringiendo el movimiento de las moléculas de hidrocarburos dentro de la masa líquida. La tendencia del aceite a volverse más fluido es compensada por el aumento de la resistencia ofrecida por las moléculas ahora alargadas del polímero lo que previene la reducción de la viscosidad del aceite con el aumento de la temperatura.

El agregado de un polímero habilita a usar un aceite base liviano con buenas performances a bajas temperaturas que se comporta de manera semejante a uno más espeso cuando se lo ensaya a temperaturas de 210°F (99°C).

Por ejemplo un aceite 20W 50 básicamente esta manufacturado a partir de un refinado básico 20W con el agregado de un aditivo mejorador del índice de viscosidad para dar un aceite de grado SAE50 a 99°C.

Los mejoradores del índice de viscosidad se ven afectados en sus cualidades, particularmente la resistencia al corte mecánico, que disminuye con el aumento del peso molecular porque tiende a producir una pérdida de viscosidad.

Desafortunadamente, estos polímeros no son completamente estables bajo ciertas condiciones de corte, lo que admite que el aceite pueda volverse más fluido. Un agente básico de corte mecánico aparece en los engranajes de transmisión. Con el transcurso del tiempo éstas moléculas de largas cadenas, se rompen, de modo que el aceite 20W-50 pasa a comportarse como un 20W-30.

CLASIFICACION API

En el periodo que precedió a la Segunda Guerra Mundial los desarrollos en el diseño de motores de combustión interna y las nuevas aplicaciones a las cuales estaban destinados dieron como resultado la introducción de nuevos tipos de aceites para carteres de motores.

Para indicar el buen comportamiento de un aceite, la API (American Petroleum Institute) preparó una clasificación que contemplaba las condiciones de severidad de trabajo del aceite en el motor.

La primera clasificación fue publicada en 1947 conteniendo tres tipos de aceites designados en orden creciente de aptitud para trabajo severo:

1. Tipo regular (R)
2. Tipo Premium (P)
3. Tipo Heavy Duty (HD)

Varios años después se reconoció que esta clasificación tenía limitaciones y que no respondía con los nuevos desarrollos de los motores. En el año 1952 se efectuó una nueva clasificación de los aceites según sus aptitudes de servicio, a saber:

Aceites de cárter para motores nafteros:

Servicio ML

Servicio MM

Servicio MS

Aceites de cárter para motores diesel

Servicio DG

Servicio DS

Actualmente, la clasificación API está caracterizada por dos letras:

- La primera indica el tipo de motor:
S (Service) para motores nafteros.
C (Commercial) para motores diesel.
- La segunda indica el grado de sollicitación ascendente.

Motores nafteros

SA. Obsoleto: No posee requerimientos de desempeño.

Utilizar cuando el fabricante lo indique específicamente.

SB. Obsoleto: Para motores más antiguos. Utilizar cuando el fabricante lo indique específicamente.

SC. Obsoleto: Hasta 1967 y más antiguos.

SD. Obsoleto: Hasta 1971 y más antiguos.

SE. Obsoleto: Hasta 1979 y más antiguos.

SF. Obsoleto: Hasta 1988 y más antiguos.
SG. Obsoleto: Hasta 1993 y más antiguos.
SH. Obsoleto: Hasta 1996 y más antiguos.
SJ. Actual: Para todos los motores de automotores fabricados hasta el año 2001.
SL. Actual.

Las letras SI y SK se omitieron internacionalmente en la clasificación por estar asociadas a otros sistemas u organizaciones.

La última categoría introducida en julio de 2001 a través del sistema de certificación y licenciamiento de Aceites de Motor (EOLCS- Engine Oil Licensing and Certification System) y representa la más exigente categoría de servicio para todos los motores actualmente en uso.

Los aceites lubricantes que cumplan SL están diseñados para obtener un mejor control de los dispositivos a elevada temperatura y un menor consumo de aceite. Además, estos lubricantes cumplen la especificación ILSAC GF3 (Internacional Lubricant Standardization and Approval Comité) que lo califican como " Energy Conserving " por lo que resulta en un aceite cuyo empleo mejora el consumo de combustible con mejor control de oxidación y, por lo tanto, un uso más prolongado.

Motores diesel

CA.
CB.
CC. Motores diesel de aspiración de carga reducida.
CD. Motores diesel aspirados y turbodiesel.
CE. Con ensayos adicionales en motores Mack y Cummins.
CF. Reemplaza desde 1994 a la especificación CD.
CF.4. Similar a CE pero con ensayo más estricto en el motor monocilíndrico turbodiesel Caterpillar.

El concepto de servicio indica severidad de trabajo del motor, según los criterios que se indican:

1) Servicio intermitente. Típico de ciudades con paradas y arranques frecuentes, generalmente a bajas velocidades. Favorece la condensación del vapor de agua a partir de la combustión por no alcanzarse la temperatura óptima de trabajo del motor. Hay formación de ácidos corrosivos y barros o lodos.

2) Servicio en ruta con cargas, altas velocidades y elevadas temperaturas.
Produce la oxidación del aceite, la formación de lacas, lodos y barnices.

Esta clasificación se establece en ensayos dinamométricos. Se monitorea la capacidad del aceite para prevenir el desgaste del sistema de distribución.

CLASIFICACION ACEA

El código está formado por una letra y un número.

La letra del Código indica para qué tipo de motor está adaptado el aceite:

“**A**”: para los nafteros.

“**B**”: para los diesel ligeros (automóviles, vans).

“**E**”: para los diesel pesados (camiones, autobuses, etc.).

El número del código especifica la calidad progresando a medida que este aumenta. Los números son:

1, 2, 3, etc.

Actualmente los aceites calificados como “**A3**” son los de mayor calidad para motores nafteros.

Para vehículos diesel el nivel máximo de calidad es:

“**B4**” (para automóviles).

“**E5**” (para vehículos comerciales).

Especificaciones ACEA				
Asociación Constructores Europeos de Automóviles:				
Para motores nafteros, la clasificación siempre comienza con la letra A, seguida por un número que define la performance del lubricante. Actualmente la última clasificación ACEA para lubricantes de motores nafteros es la A5. Para motores diesel es similar sólo que se utiliza la letra B. Actualmente la última clasificación de ACEA para motores diesel es la B5.				
ACEA 2001	Nafteros		Diesel	
Lubricantes	Standard	Economizador de Combustible	Standard	Economizador de Combustible
Alta Performance	A3	A5	B3 (IID) / B4 (ID)	B5
Performance Standard	A2	A1	B2	B1

(IID) Inyección indirecta
(ID) Inyección directa

Para motores diesel de servicio pesado, la clasificación comienza con la letra E, seguida por un número que define la performance del lubricante. Actualmente la última clasificación ACEA es E7.

INDICE DE VISCOSIDAD

La viscosidad de un aceite lubricante depende mucho de la temperatura. Dos aceites pueden tener viscosidades idénticas a una temperatura dada, y sin embargo, diferir considerablemente en esta propiedad a temperaturas superiores o inferiores.

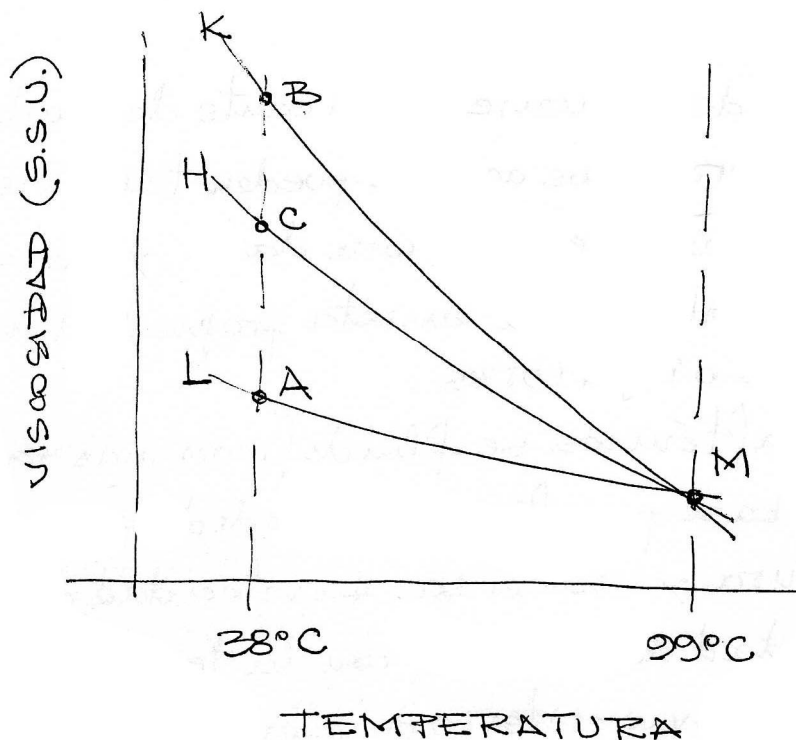
Los aceites nafténicos se fluidifican más rápidamente que los de base parafínica a medida que aumenta la temperatura y viceversa. La velocidad de cambio de la viscosidad de un aceite con la temperatura se utiliza mucho como criterio de valoración en ciertas aplicaciones.

El procedimiento más expeditivo para comparar aceites esta basada en el denominado "índice de viscosidad" (IV), cuyo concepto fue introducido por Dean y Davis.

Para establecer el índice de viscosidad se utilizan como puntos de referencia dos aceites típicos puros provenientes de petróleos tales, que sus índices de viscosidad resulten extremos y opuestos. Este modo de definir el índice de viscosidad resulta un tanto arbitrario.

El aceite típico menos afectado por la temperatura que corresponde al crudo de Pennsylvania que tenía las curvas viscosidad-temperatura más horizontales entre los aceites entonces conocidos, se le asignó el índice de viscosidad 100, que corresponde a la curva ML del gráfico.

Al aceite destilado del crudo del Golfo de México (Gulf Coast) ó nafténico de Texas, que por el contrario tiene curvas muy ascendentes porque resulta afectado por la temperatura, se le asigna el índice de viscosidad 0, que corresponde a la curva MK.



Cualquier aceite incógnito debía quedar, entonces, encuadrado entre dichos límites extremos. Si se compara la curva viscosidad-temperatura de un aceite cualquiera, tal como el representado por la curva MH, con las curvas similares de los dos aceites patrones, y que tienen la misma viscosidad a 99°C, su índice de viscosidad resulta ser:

$$IV = \frac{BC}{BA} \times 100$$

Las diferencias de viscosidad AC y BC están referidas a una de 38°C (100°F) y se deben medir en S.S.U. Para otra temperatura el aceite tendrá otro índice de viscosidad.

Así, el índice de viscosidad de un aceite es una medida de la consistencia de la viscosidad con la variación de la temperatura. Es un número empírico y adimensional obtenido por cálculo que caracteriza la variación de la viscosidad con la variación de la temperatura.

Con los adelantos en las técnicas de refinación y la introducción de aceites sintéticos, el índice de viscosidad de muchos aceites cae actualmente fuera de la escala, algunos con IV superior a 100 y otros con IV negativo, o sea, inferior a cero.

Además, la naturaleza de la relación entre $V_{210^\circ F}$ de las series estándar básicas y el método de cálculo del índice de viscosidad hace que se obtengan resultados anómalos para IV superiores a 100. Esta Objeción a la fórmula de Deam y Davis llevó a proponer otras relaciones viscosidad-temperatura, entre las cuales puede mencionarse el “Índice de Viscosidad Cinemática” (IVC) calculado a partir de observaciones en centistokes realizadas en la zona de 2,5 a 100cs y propuesto por Hersch, Fisher y Fenske.

El valor de este índice viene dado por las siguientes expresiones:

$$\text{Serie de 100IVC} = V_{100^\circ F} = 2,808 \left[V_{210^\circ F} - \frac{0,5}{(V_{210^\circ F})^{1,33}} \right]^{1,5}$$

$$\text{Serie de 0IVC} = V_{100^\circ F} = 2,450 \left[V_{210^\circ F} - \frac{0,213}{(V_{210^\circ F})^{1,08}} \right]^{1,8}$$

Es interesante también la constante de viscosidad propuesta por Walter. Representando el doble del logaritmo de la viscosidad cinemática (en centistokes) al que se ha añadido una constante [por ejemplo, $\log(v+a)$] respecto al logaritmo de la temperatura absoluta para una serie de aceites, se obtienen distintas líneas rectas con pendientes diferentes. Estas líneas para ciertos grupos de aceites convergen en un punto llamado “polo de viscosidad” (viscosity pole heiht), que ha sustituido al IV en ciertos países del continente europeo como medio de caracterizar los aceites.

NÚMERO DE NEUTRALIZACION

El número de neutralización puede expresarse de varias maneras:

- TBN (Número Base Total).
- TAN (Número Acido Total).
- SAN (Número Acido Fuerte).

NÚMERO BASE TOTAL

Los ingenieros japoneses Saburo Shimizo y Kuyomatsu Kusama establecieron una fórmula para determinar el índice de alcalinidad del aceite o TBN que es la siguiente:

$$\text{TBN} = 0,35 \text{ S X B/L}$$

Siendo:

S = Tenor de azufre en peso y en % contenido en el combustible.

X = Coeficiente (para motores grandes es cercano a 0,15).

B = Consumo específico de combustible en gr/CV-hora.

L = Consumo específico de aceite en gr/CV-hora.

La reserva de alcalinidad del aceite se expresa en equivalente de hidróxido de potasio (KOH) por gramo de aceite.

Un TBN igual a 31 significa que la reserva de alcalinidad es equivalente a 31 miligramos de KOH por gramo de aceite.

- Ensayo según norma ASTM D2896.

ACEITES SINTETICOS

Ventajas:

- Elevado índice de viscosidad (IV mayor a 135).
- Excelente fluidez a baja temperatura.
- Excelente estabilidad al corte.
- Buena estabilidad térmica y a la oxidación en un rango comprendido entre -60°F y 400°F .
- Se oxidan a uno 50°F por encima de la de los aceites minerales.
- Menor volatilidad (Solo el 1% se evapora dentro de un período estándar de tiempo en comparación con alrededor del 25% para los aceites minerales).
- El intervalo de cambio de aceite es de 6 y 8 veces superior al de los aceites minerales.
- Reducido consumo de aceite. Mejoran el efecto de sellado.
- Mantiene al motor más limpio. Se reduce el mantenimiento.
- No es afectado por la contaminación del combustible.

Desventajas:

- Pobres características de “interposición” (entrar por la fuerza).
- Elevado costo.
- No se puede mezclar con otros aceites sintéticos.
- No es muy efectivo en motores antiguos con malos aros, sellos de válvulas o retenes. Se consume más rápidamente.

En el cuadro se indican las temperaturas límites comparativas entre aceites minerales y sintéticos:

