LUIS MÁRQUEZ
Dr. Ing. Agrónomo

LA LUBRICACIÓN Y LOS LUBRICANTES

Necesidad y propiedades de los lubricantes

Abrimos una trilogía de artículos técnicos relativos a la lubricación y los lubricantes. En este primer capítulo, se esbozan los conceptos básicos que explican su utilización, las funciones que deben cumplir y la evolución mostrada en paralelo a la tecnología mecánica.



Una máquina está compuesta por muchos elementos dotados de movimientos relativos, lo que ocasiona fricción entre las partes que se encuentran en contacto, y, por tanto, consumo de parte de la energía que proporcionan los motores. El lubricante, al interponerse entre las superficies que se desplazan entre sí, permite reducir la fricción natural entre ellas y, por consiguiente, su desgaste.

Los avances tecnológicos que continuamente se producen en la maquinaria no serían posibles sin la ayuda de unos productos lubricantes apropiados para cada componente, en unas condiciones de trabajo difíciles como son las que el medio agrícola impone.

En cualquier caso, los costes imputables a la lubricación de la maquinaria agrícola se encuentran comprendidos entre el 0.8 y el 1.3% de los costes totales de utilización de los equipos agrícolas, y sin embargo, un fallo en la lubricación puede producir daños irreparables en la máquina, o al menos averías costosas de reparar y una reducción de su vida útil.

A medida que aumenta la calidad de los equipos utilizados en la agricultura, y de manera especial en tractores y máquinas agrícolas autopropulsadas, las exigencias de lubricación aumentan, lo cual viene señalado de manera expresa en los manuales del utilizador de los diferentes equipos.

La elección del lubricante más apropiado para cada equipo y circunstancia no resulta sencilla. Los fabricantes de la máquina, en colaboración con los de los productos lubricantes, tienen que realizar numerosas pruebas de laboratorio y campo, viendo los efectos que se derivan de cada tipo de lubricante para decidir en consecuencia.

Por ello, el usuario debe seguir las recomendaciones del equipo en materia de lubricación, aunque también es importante que conozca los efectos de los lubricantes en la maquinaria, ya que la forma en la que emplee su máquina va a afectar de manera diversa a los lubricantes empleados, lo que tiene influencia en la periodicidad de los cambios, e incluso con la clase de aceite que su utilización exige.

PARA QUÉ SIRVE EL LUBRICANTE

El lubricante se interpone entre las piezas dotadas de movimiento relativo, de manera que se reduzca la fricción y por tanto su desgaste. Pero esta no es su única misión; además, se debe de encargar de proteger del desgaste corrosivo a los elementos de la máquina, sellar las juntas sin deteriorarlas, y sobre todo evacuar el calor que se produce como consecuencia del rozamiento y las impurezas de todo tipo que llegan o se generan en el interior de la máquina.

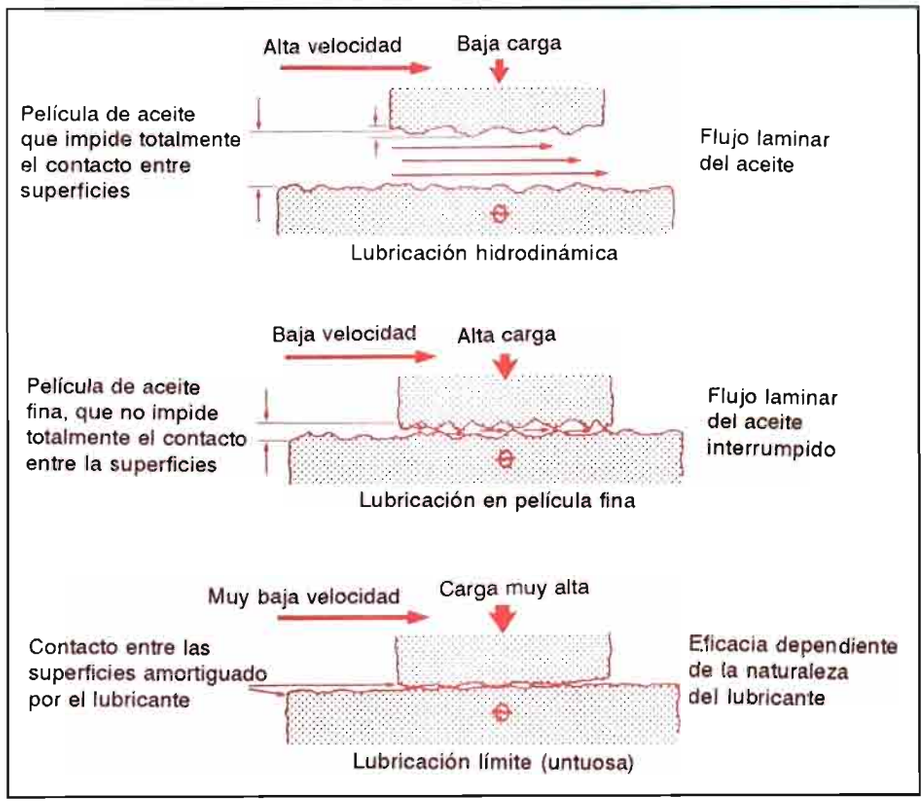
Para conseguirlo, a lo largo del tiempo, necesita estabilizar su comportamiento, con independencia de las condiciones de funcionamiento, lo que exige, en la mayoría de las aplicaciones, el reforzamiento de sus propiedades 'naturales'.

Un buen lubricante debe cubrir con una película los elementos que protege, lo cual depende en gran medida de su viscosidad y de su adherencia a la superficie, sin que se volatilice a la temperatura de trabajo, pero también tiene que evitar la corrosión que se produce cuando la máquina no funciona, además de limpiar y de refrigerar los mecanismos que lubrica. En aplicaciones especiales, como son los frenos y embragues en baño de aceite de los tractores agrícolas modernos, el lubricante debe de ayudar a producir una fricción uniforme, siendo absorbido por materiales porosos.

LOS ROZAMIENTOS

La evolución de los lubricantes va unida a la de la tecnología mecánica. En los ejes de los carros primitivos la grasa o el sebo, procedente de animales, cumplía de una manera, en cierto modo aceptable, la función de lubricación que se le encomendaba, aunque los elementos en rozamiento lo desplazaban con facilidad. Esta técnica resulta todavía admisible para la lubricación de mecanismos sencillos con cargas bajas y reducidas velocidades de deslizamiento.

FIGURA 1. DIFERENTES TIPOS DE LUBRICACIÓN



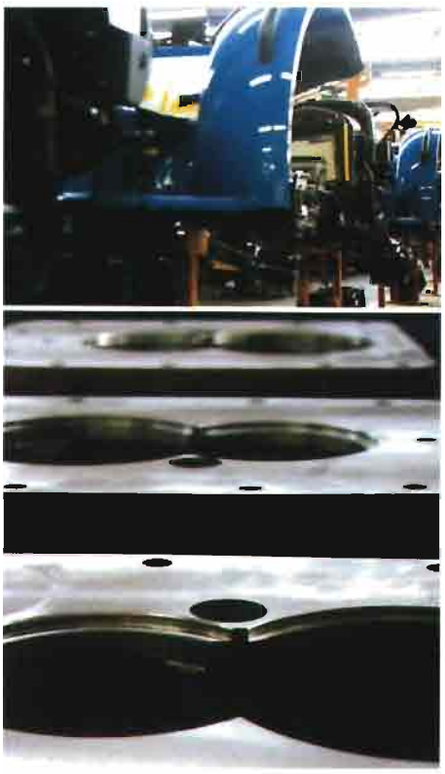
Con la aparición de la máquina de vapor, en la que se necesita controlar la fricción entre piezas cargadas que se desplazan con elevada velocidad relativa, se hace necesario el estudio profundo de la lubricación. Se observa que se necesita un fluido que se interponga entre las superficies, y empiezan a utilizarse como lubricante los aceites derivados del petróleo, que son los antecesores de los lubricantes modernos.

Cuando dos superficies deslizan entre sí se produce lo que se conoce como rozamiento seco. Sus consecuencias: gran resistencia al deslizamiento, con el consiguiente consumo de energía para que éste se produzca, y desgaste de las superficies que intervienen.

Por el contrario, si se consigue que un fluido se mantenga, de manera permanente, entre las superficies que deslizan, a pesar de la carga que se produzca en el apoyo, no habrá desgaste, ya que las superficies no llegan a establecer contacto directo, y las pérdidas de energía quedan limitadas al 'movimiento' del aceite inducido por los propios elementos que se desplazan, con un consumo energético mucho menor. Esto se conoce como lubricación hidrodinámica. Un ejemplo de ella es la lubricación entre la biela y el cigüeñal de los motores cuando funcionan a régimen.

Entre una y otra hay posibilidades intermedias, interponiendo entre las superficies en contacto una película de lubricante de diferente espesor. Si la película no llega a impedir el contacto entre los elementos salientes de las superficies que deslizan se dice que se ha alcanzado la 'lubricación límite' o 'capa límite', de manera que las piezas quedan protegidas en cierto modo, ya que la carga se reparte entre los puntos de apoyo y el propio lubricante, pero la eficacia de la protección es mucho menor de la que se consigue con la lubricación hidrodinámica. Esta era la única forma de lubricación utilizada en la antigüedad.

Cuando el espesor de la capa de aceite aumenta, pero se mantiene el apoyo entre las partes más salientes de las superficies en contacto, se dice que la lubricación se realiza en con 'película fina', lo que produce una mejora sustancial de la lubricación con respecto a la 'lubricación límite'.



Parece lógico pensar que, en todas las aplicaciones, se debería conseguir una lubricación hidrodinámica, pero esto no resulta posible, ya que para ello se necesitaría el empuje hidrodinámico de una 'cuña' que se desplace sobre el aceite a suficiente velocidad para la carga que soporta, de manera similar como lo hace un esquiador sobre el agua. Así, cuando baja la velocidad al final o al principio del recorrido, o cuando la carga aumenta de manera brusca, no queda más remedio que recurrir, aunque sólo sea en determinados momentos, a lo que se conoce como lubricación en 'capa fina', adaptando el lubricante a esta misión. Claros ejemplos de esta forma de lubricación lo constituyen las guías de los elementos desplazables, los engranajes y los elementos de los sistemas hidráulicos.

Aún queda otro tipo de contacto entre superficies que requiere un análisis particular. Cuando se produce una gran presión en el contacto, como puede suceder en los rodamientos de bolas o de rodillos, el lubricante que ocupa los espacios intermedios aumenta su viscosidad a medida que lo hace la presión aplicada. Este incremento de la viscosidad unido a una deformación temporal de las superficies metálicas opuestas hace que la película de lubricante actúe como un agente sólido de separación, evitando el contacto metal/metal y soportando la carga. Este tipo de lubricación se conoce como 'elastohidrodinámica' o EHD.

Para todos y cada uno de estos casos se necesita contar con productos lubricantes, aunque no siempre es posible disponer, a un coste razonable, de un material válido para cualquier circunstancia y condición.

LOS LUBRICANTES

Cualquier fluido que pueda reducir el rozamiento entre superficies en contacto, sería utilizable como lubricante. De esta manera podrían utilizarse materiales como el mercurio, el alcohol y determinados gases en condiciones particulares.

Sin embargo, todos asociamos el concepto de lubricante a los aceites minerales. La utilización generalizada de los aceites minerales, obtenidos por refino del crudo de petróleo, ha sido la consecuencia de que son fáciles de conseguir, relativamente baratos y compatibles con los combustibles que emplean los motores.

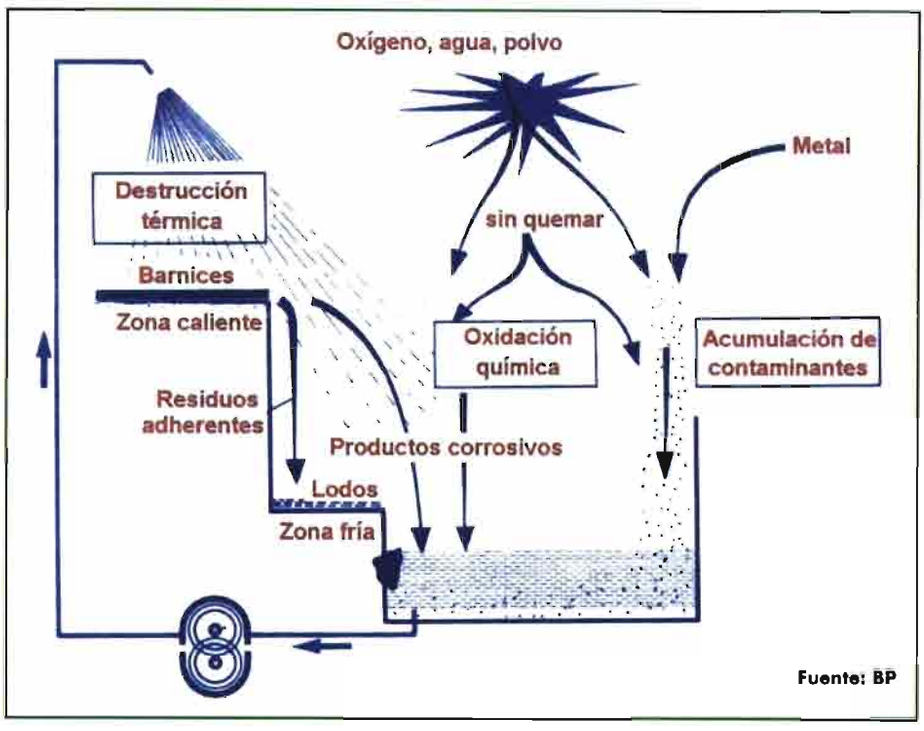
En cualquier caso, a un lubricante se le exige:

- Capacidad para 'mojar' y adherirse a las superficies en contacto.
- Cuerpo suficiente, lo que también se conoce como viscosidad.
- Resistencia al agua.
- Capacidad para prevenir la corrosión.
- Mantener una buena estabilidad térmica.
- Capacidad para transferir el calor.

Estas propiedades se modifican durante el proceso de refino, pero también dependen del origen de los hidrocarburos utilizados. Esto se pone particularmente de manifiesto para las destilaciones realizadas sobre los crudos denominados parafínicos y los naftalénicos, a partir de los cuales se llega a lo que se conoce como 'aceite base', después de un proceso de refino en el que se aprovechan los diferentes puntos de ebullición de los componentes del crudo.

No siempre es posible conseguir que un 'aceite base' sea capaz de proporcionar todas las cualidades que exige la lubricación de los equipos mecánicos modernos, bien porque sus propiedades son insuficientes, o porque carecen de algunas propiedades

FIGURA 2. DEGRADACIÓN DEL ACEITE EN EL MOTOR



específicas. Esto se resuelve complementando el aceite base con productos conocidos como 'aditivos', que mejoran y completan las propiedades de este.

Más recientemente han llegado al mercado aceites conocidos como 'sintéticos', que se fabrican mediante mezcla de componentes procedentes de los hidrocarburos pero sin recurrir a la destilación fraccionada, lo que permite conseguir un comportamiento adaptado a las diferentes aplicaciones que se necesita. Sin embargo, los costes de fabricación son mucho mayores que con los obtenidos sobre la base de destilación del petróleo, completados con aditivos, lo que hace que su empleo quede limitado a situaciones de alta responsabilidad, en las que se puede asumir estas diferencias de coste.

El 'aceite base'

Normalmente, un aceite lubricante se obtiene en dos etapas. En la primera se consigue, por destilación fraccionada del crudo petrolífero, el 'aceite base', al que se añaden 'aditivos' de distinta clase y proporción según la aplicación a la que se destina el lubricante.

El crudo de petróleo sufre una primera destilación atmosférica, calentándolo a una temperatura de 400°C, de la que se obtiene, por condensación, las gasolinas y los gasóleos. Con el residuo no vaporizado se realiza otra destilación en condiciones de vacío parcial (a menor presión que la atmosférica) que permite, entre otros componentes, obtener aceites de base, que posteriormente se someten a un refino adicional para eliminar parafinas, ácidos y otras impurezas.

Las características de este aceite base son muy importantes para su comportamiento como lubricante, en especial las relativas a la viscosidad y su variación con la temperatura (índice de viscosidad -VI-), estabilidad ante la oxidación y volatilidad.

La viscosidad y su variación con la temperatura

La viscosidad de un aceite se puede definir como su facilidad para salir por un orificio. Un aceite viscoso fluye con dificultad, mientras uno fluido lo hace con facilidad. A medida que disminuye la temperatura aumenta la viscosidad, y esto se produce de manera muy rápida.

En la industria del aceite la medida de la viscosidad se realiza con el equipo conocido como 'viscosímetro' que permite determinar lo que se conoce como viscosidad cinemática, medida en unidades conocidas como *centistokes*, utilizando un orificio capilar por el que fluye el aceite bajo la acción de la fuerza de la gravedad. A la vez que se realiza la determinación de la viscosidad debe de indicarse la temperatura del aceite, por la notable influencia de ésta sobre la medida.

Dependiendo del origen del crudo utilizado para la destilación, la viscosidad del aceite base varía, según las características de las moléculas que forman el aceite, hasta el punto que se pueden conseguir aceites con viscosidad comprendida entre la de la miel y la del agua.

Por otra parte, es muy importante el ritmo con el que cambia la viscosidad en función de la temperatura. Como índice de referencia, para los diferentes aceites, se utiliza la comparación entre las viscosidades a alta temperatura (100°C) y a una temperatura menor (40°C). A los aceites que ofrecen la mayor variación de la viscosidad entre estas dos temperaturas se les asigna como índice de viscosidad (VI) el valor 0, y proceden de crudos conocidos como 'naftalénicos'. Por el contrario, los de procedencia 'parafínica' tienen un grado de variación de la viscosidad mucho menor, asignándole, por acuerdo, el valor 100 al índice de viscosidad, lo que en principio los hace más apropiados para la lubricación a diferentes temperaturas.

Utilizando estas referencias, cualquier tipo de aceite de base se puede evaluar por su índice de viscosidad, el cual toma valores entre 25 y 75 para los que proceden de hidrocarburos 'naftalénicos' y entre 75 y 105 los 'parafínicos', que en principio pueden considerarse 'mejores' a este respecto. Para conseguir menores variaciones entre la viscosidad en caliente y en frío se necesita recurrir, como luego se indica, a los aditivos.

Figura 3. Variación de la viscosidad con la temperatura

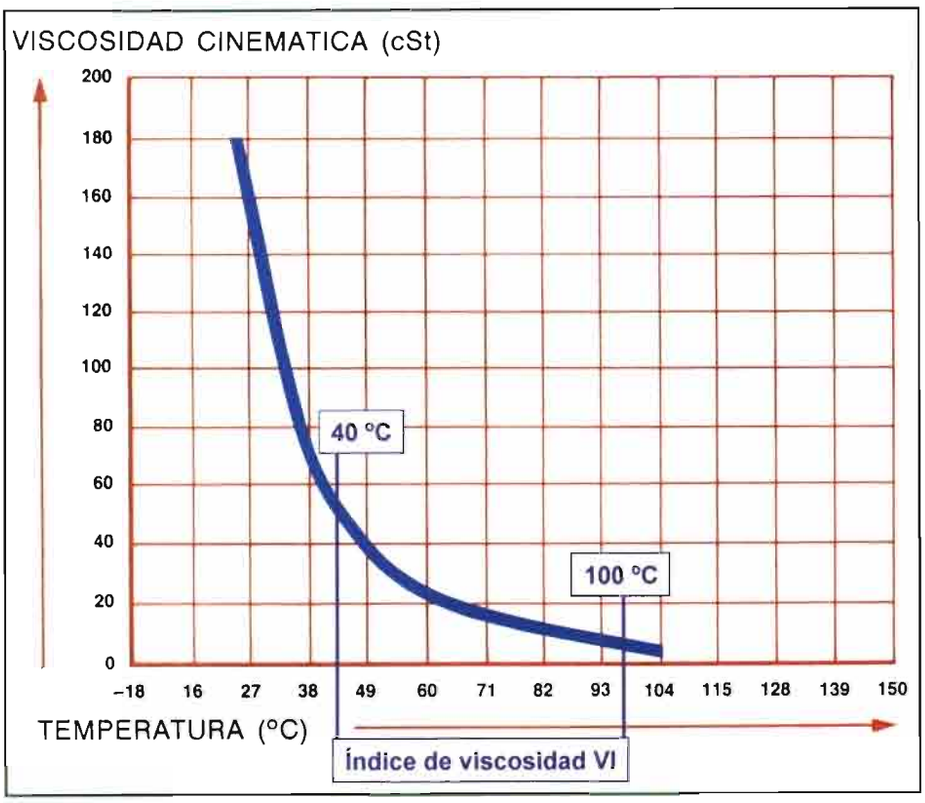
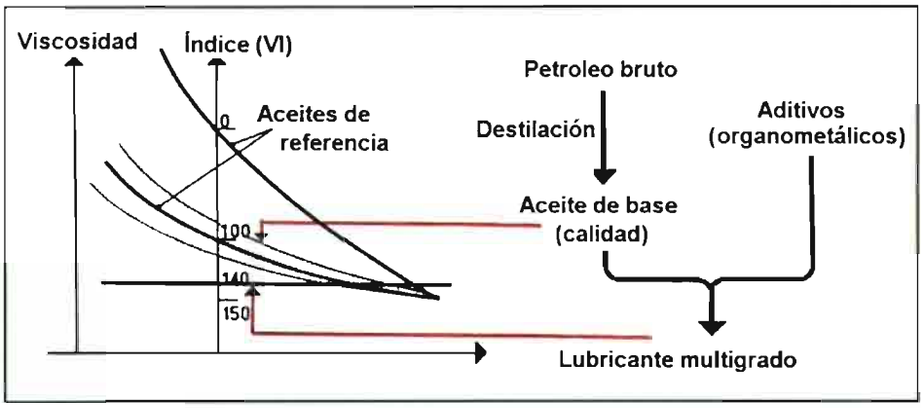


FIGURA 4. COMPOSICIÓN DE UN ACEITE



ESTABILIDAD ANTE LA OXIDACIÓN

La oxidación es una reacción química natural de los hidrocarburos en contacto con el oxígeno del aire que apenas tiene importancia a baja temperatura, pero que se intensifica cuando se sobrepasan los 100°C, lo cual se produce de manera habitual cuando el aceite alcanza superficies calientes, como sucede en los motores.

La oxidación produce un espesamiento del aceite, con solidificaciones en forma de lodos que obstruyen los conductos de lubricación y, también, creando depósitos en forma de barnices y lacas sobre las superficies calientes.

La resistencia a la oxidación depende esencialmente de la procedencia del crudo y del procedimiento de refino que se ha utilizado.

VOLATILIDAD DEL ACEITE

La volatilidad mide la tendencia del aceite a evaporarse, lo que especialmente se produce al ponerse en contacto las fracciones más ligeras del aceite con las partes calientes del motor.

Como consecuencia del aumento de la temperatura de aceite en servicio, y por la generalización del empleo de aceites con menor viscosidad, las temperaturas de volatilización de los aceites resultan cada vez más importantes, ya que si se utilizan aceites para motor con aceites base de baja volatilidad se produce un notable aumento del consumo de aceite.

Los aditivos

Se pueden establecer de dos grupos diferentes: los que refuerzan las propiedades del aceite base y los que proporcionan propiedades que no están disponibles en ellos.

LOS QUE REFUERZAN LAS PROPIEDADES DEL ACEITE BASE SON:

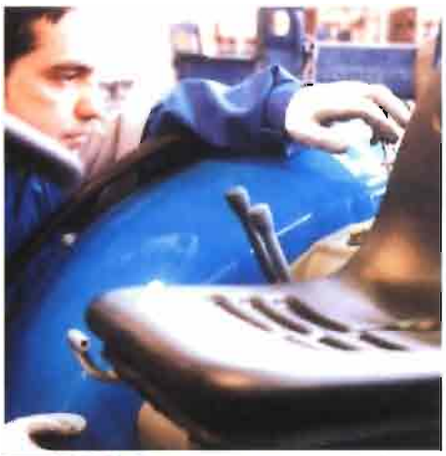
Los ***mejoradores del índice de viscosidad***: son productos con una estructura molecular formada con grandes moléculas que se expanden con el calor, dificultando la movilidad de las moléculas de aceite a medida que éste se hace más líquido. De esta manera se consigue llegar a valores del VI de 100 a 150, aunque en las condiciones de trabajo se produce la cizalladura de las moléculas del aditivo, lo que hace que el aceite pierda viscosidad en caliente con el uso.

Los ***inhibidores de la oxidación***: aunque no la impiden, reducen la velocidad del proceso de oxidación para temperaturas entre 100 y 200°C.

Los ***agentes antiespumantes***: evitan, o al menos reducen, la formación de la espuma que se produce por la agitación del aceite. Las burbujas de aire aceleran la oxidación y pueden ocasionar debilidad en la película hidrodinámica de lubricación y cavitación en las bombas de los sistemas hidráulicos. Normalmente actúan reduciendo la tensión superficial de las burbujas para que desaparezcan.

Depresores del punto de congelación: los aceites minerales no tienen una temperatura de congelación, ya que están formados por mezcla de componentes. Se define como punto de congelación la temperatura más baja a la que el aceite deja de fluir. El punto de congelación depende del contenido de parafina en el aceite, y los aditivos que lo bajan actúan modificando la formación de cristales de parafina impidiendo su crecimiento.

Compatibilidad del aceite con las juntas. Para conseguir la estanquidad de los mecanismos que contienen aceite lubricante se necesita utilizar

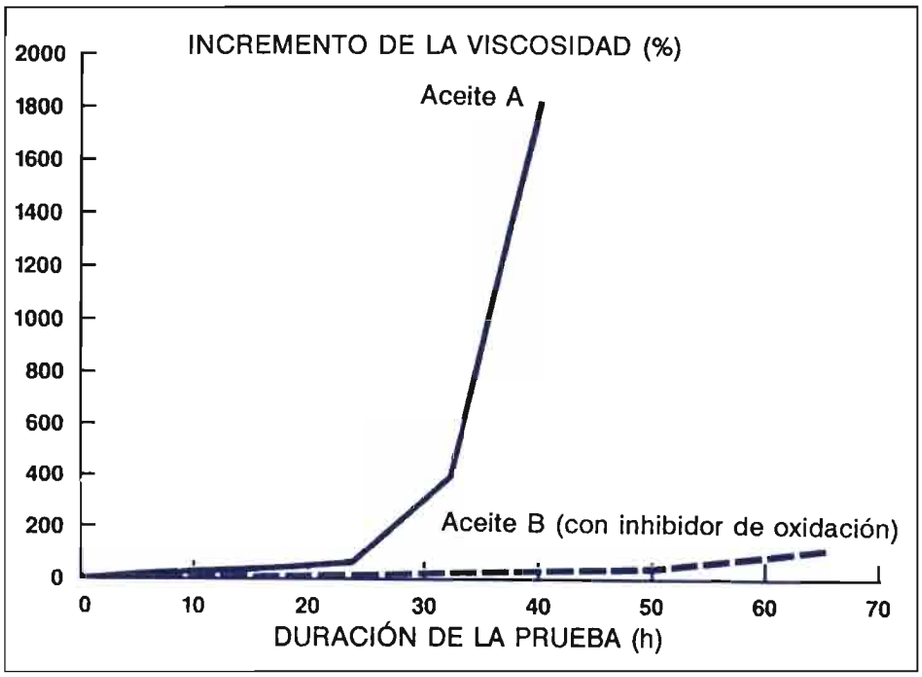






El lubricante reduce el desgaste de las piezas dotadas de movimiento relativo.

FIGURA 5. DEGRADACIÓN DEL ACEITE CON EL USO



juntas metálicas y elastómeros, que deben mantenerse en buen estado sin que reciban agresiones por parte del aceite. Con aditivos especiales se consigue que las juntas permanezcan flexibles impidiendo las fugas.

LOS QUE PROPORCIONAN PROTECCIÓN AÑADIDA SON:

Aditivos antidesgaste: son complementarios de la propia viscosidad del aceite cuando el lubricante trabaja en condiciones de película fina. Los forman moléculas que se adhieren a las superficies, por reacción química, creando una capa protectora que permite el deslizamiento sin adherencia.

Aditivos de extrema presión: actúan en condiciones de lubricación límite de manera más eficaz que los aditivos antidesgaste. La hipótesis con la que se explica su forma de actuación es la de su capacidad para formar una película química metal-sal que se corta con mayor facilidad que los metales que inciden en el contacto. La utilización de estos aditivos genera problemas en los aceites para motores, ya que su alta actividad química, que hace que se fijen a los metales a baja temperatura, podría ocasionar un rápido desgaste por corrosión.

Inhibidores de corrosión: actúa mejorando la cobertura de las superficies mojadas por el lubricante, lo que hace que quede mejor protegida ante la humedad y de los ácidos que generan los productos de combustión. Son especialmente eficaces en las zonas con temperaturas bajas y medias y, de manera especial, durante los periodos en los que la máquina se encuentra inactiva.

Aditivos detergentes: evitan que se produzcan depósitos en las zonas calientes de los motores como consecuencia de los gases quemados y de las reacciones con la parte de combustible que, atravesando los segmentos del pistón, se ponen en contacto con el aceite. No limpian un motor sucio pero forman una barrera eficaz ante los depósitos en las zonas calientes.

Son altamente alcalinos y neutralizan los ácidos procedentes de la combustión que producirían corrosión en los diferentes elementos del motor. La cantidad de detergente presente en el aceite se conoce como 'Número de Base Total' (TNB), y disminuye progresivamente durante el trabajo, lo que proporciona un método para medir la vida útil del aceite en un momento determinado.

Aditivos dispersantes: proporcionan una protección frente a los depósitos que se pueden producir en las zonas frías, como consecuencia de la acumulación de partículas de carbono, que tienden a agruparse en forma de lodos y que ocasionarían la obstrucción de los conductos de lubricación. Las partículas carbonosas permanecen en suspensión por efecto del dispersante que tienden a recubrirlas para impedir que se agrupen, de manera que no son retenidas por los filtros hasta que se cambia el aceite, lo que es indicativo de una buena eficacia del dispersante.

Modificadores de la fricción: actúan como agentes 'deslizantes' formando depósitos sobre las superficies metálicas que reducen el coeficiente de fricción. Tienen efectos encontrados con otros aditivos de acción superficial, por lo que los fabricantes de aceites no aconsejan su adición a un lubricante bien formulado, ya que podría resultar perjudicial. Su campo de aplicación incluye el de la lubricación de las transmisiones con frenos y embragues en baño de aceite, como actualmente montan los tractores agrícolas, ya que evitan los 'tirones' en el acoplamiento. Actúan reduciendo el coeficiente de fricción cuando tienden a igualarse las velocidades de las superficies en contacto.

La formulación de los lubricantes

Mezclado un aceite base con diferentes aditivos se consigue el lubricante más apropiado para una determinada aplicación, teniendo en cuenta la posible incompatibilidad de los mismos.

Los aditivos son más costosos que el aceite base y no pueden utilizarse de manera universal, por lo que en las formulaciones hay que seleccionar la opción mejor, tanto desde el punto de vista técnico como del económico, para las diferentes aplicaciones: motores, transmisiones, sistemas hidráulicos, etc.

Para cada aplicación es posible proporcionar determinados 'niveles de calidad' de manera que se adapten a las exigencias del material, para que el usuario pueda elegir el que más se adapta a sus necesidades (por ejemplo: para motores de aspiración natural o para motores sobrealimentados).■