



Una solución para cada necesidad

Para consultas y comentarios, escribenos: info@lubtechnology.com

Fluidos refrigerantes en motores de combustión interna

Por G. Fieldson

Sólo la tercera parte de la energía liberada en la combustión se convierte en energía mecánica útil. Otra tercera parte se pierde en los gases de escape y en energía radiante, y el resto es calor que debe eliminarse para evitar el sobrecalentamiento y colapso del motor. El fluido refrigerante cumple la importante función de extraer del motor este exceso de calor.

El refrigerante entra en contacto con las superficies metálicas calientes en el interior del motor y las enfría, calentándose al hacerlo. Fluye luego al radiador, en donde entrega el calor que extrajo, quedando entonces listo para volver al motor a seguir extrayendo calor.

Aunque hay motores de combustión interna enfriados por aire, la discusión subsiguiente va a centrarse exclusivamente en el caso más frecuente de los motores enfriados por "agua". Son cuatro los aspectos que vale considerar al abordar el tema: Composición del Fluido Refrigerante, Corrosión, Cavitación y Formación de Depósitos.

Composición del Refrigerante:

El componente primario del refrigerante en los motores enfriados por agua, es por supuesto el agua. Por sus buenas propiedades de transferencia de calor, y por ser no tóxica, no inflamable y barata, probablemente seguirá siendo clave en los sistemas de enfriamiento de motores por largo tiempo.

Mezclada con el agua puede estar presente una de las tres siguientes bases refrigerantes: Etilenglicol (EG), que es la base más común. Propilenglicol (PG), que es utilizada por su bajo nivel tóxico y contaminante. Y por último el Metanol que es la tercera alternativa y la menos efectiva, utilizada mucho en Gran Bretaña, casi sólo por costumbre histórica.

Sin ninguna mezcla, el agua se mantiene líquida entre 0°C y 100°C. La función de la base refrigerante es extender ese rango. En una mezcla al 50%, los glicoles van a bajar el punto de congelamiento a -45 °C y subir el de ebullición a 118 °C.

A la mezcla de agua y base refrigerante se le agregan inhibidores químicos que controlan la corrosión y la cavitación. Además se agregan otros aditivos con el fin de estabilizar los inhibidores y las sales metálicas, que se conocen como secuestrantes. Otro componente utilizado es el colorante.

Corrosión: Hay dos modos diferentes por los que la corrosión puede hacer fallar el sistema de refrigeración. El primero es el desgaste corrosivo que debilita el metal lo suficiente para producir fallas mecánicas, tales como perforaciones y fugas del refrigerante.

El segundo es la formación de bloqueos en el paso del líquido, a causa de partículas y pedazos de metal corroído. Esto conduce a la reducción del flujo de líquido y al sobrecalentamiento del motor.

Las fallas por corrosión ocurren frecuentemente en los radiadores y las bombas de agua. En los radiadores las perforaciones suelen estar acompañadas con gran cantidad de partículas de metal corroído que taponan los conductos y hasta los mismos agujeros que se han producido. En las bombas de agua, la corrosión causa la reducción de flujo de líquido, fugas y, en casos extremos, la fractura de la bomba.

Otra consideración sobre la corrosión en motores de combustión interna es su relación con el flujo de calor. El metal que está cediendo calor tiene una tasa de corrosión más alta que el metal que lo está absorbiendo. El mayor ejemplo de metal cediendo calor es el bloque de cilindros cuando transfiere su calor al líquido refrigerante. Existe un cierto número de metales diferentes presentes en los sistemas de refrigeración de los automotores. Los más comunes son acero, hierro, cobre, bronce, aluminio y soldadura de estaño. En términos generales, la corrosión es prevenida por la formación de un filme estable en las superficies metálicas. Este filme se forma por productos de la misma corrosión, como cuando el aluminio se expone al aire, o por la absorción de algún otro químico como los silicatos.

El potencial corrosivo de los metales es el resultado de muchos factores que compiten entre sí. Los dos más importantes son el potencial de electrodo, que indica la tendencia del metal a oxidarse, enfrentado a la dureza y estabilidad de la capa protectora de la superficie. Los metales más fáciles de corroer en un motor son el aluminio y el estaño.

Distinto a su comportamiento en guardabarros y otras partes externas, el acero y el hierro tienen una tasa baja de corrosión en los motores. La tarea simple y esencial para reducir la corrosión de metales ferrosos es la adición de inhibidores en la fórmula del refrigerante. Además, los productos de la corrosión de los metales ferrosos se disuelven rápidamente en el refrigerante formando una solución moderadamente estable, por lo que la corrosión de los metales ferrosos no constituye un problema mayor en los motores.

El cobre y el bronce tienen una tasa de corrosión más alta que el hierro y el acero. Sin embargo, como en el caso de los metales ferrosos, la corrosión del cobre y el bronce se controla fácilmente con el uso de inhibidores en la fórmula del refrigerante.

La corrosión del Aluminio puede ser realmente un problema. Por su potencial de electrodo, es el metal más afectado por la corrosión. Solo el magnesio, el sodio y el potasio tienen un potencial mayor de oxidación. La razón por la que los motores de aluminio no se convierten en polvo blanco es porque los óxidos de aluminio forman un filme protector estable en su superficie. Sin embargo, un fluido que circula con rapidez puede remover la capa de protección, por el proceso llamado erosión corrosiva. Por tal razón es necesario limitar el flujo de refrigerante a no más de 3 m/s. En general se logra controlar la velocidad del flujo en todos los componentes, excepto en la bomba de agua, que es el componente más vulnerable del sistema, afectado tanto por la erosión corrosiva, como por la cavitación.

Por último, el estaño es el metal menos importante a considerar en un sistema de refrigeración. El estaño, como el aluminio, es altamente susceptible a la corrosión. Existen dos tipos de estaño. Bajo, aproximadamente con 70% de plomo (Pb) y 30% Estaño (Sn). Alto, que tiene 97% Pb, 2.5% Sn y 0.5% plata (Ag.). A efectos prácticos, aunque tiene un

potencial electródico decente, el estaño es probablemente el elemento menos resistente en un automóvil. Esto es porque el estaño no forma la capa estable de protección como el aluminio. Se utilizan mucho las soldaduras de estaño en la construcción de los radiadores. Una soldadura puede oxidarse completamente pero va a seguir uniendo las partes por las sales producto de la corrosión. Desafortunadamente, las sales no tienen alta resistencia mecánica por lo que las fallas ocurrirán cuando las sales se rompan por la vibración.

La falla más importante de los radiadores ocurre cuando se corroe la soldadura entre el cuerpo y las tapas del radiador. Dependiendo de la técnica de construcción, este puede ser un problema tremendo.

Como nota final de los metales, aluminio zincado se ha usado para controlar la corrosión y prevenir la oxidación y perforación del aluminio. Una aleación de 99% Aluminio y 1% de Zinc se pone en la superficie del aluminio. En esta estructura compuesta, la corrosión va a proceder preferentemente con la aleación de la superficie. Si la capa de esta aleación está bien aplicada, va a ser bastante efectiva para prevenir oxidación y perforación.

Existe una variedad de compuestos químicos que se agregan a los refrigerantes para inhibir la corrosión. Bien llamados inhibidores, la función de estos aditivos es formar una capa protectora estable sobre las superficies de metal, y además modificar las propiedades de solubilidad del refrigerante. Francamente el mecanismo preciso de protección de algunos aditivos no es totalmente conocido, y adicionalmente, los aditivos de la mayoría de los productos comerciales son de tecnología propietaria. Afortunadamente, publicaciones en los últimos años han aportado mucha información sobre los principales inhibidores en uso.

Los inhibidores de corrosión más comunes, incluyen: fosfato de sodio, nitrato de sodio, tolitriazol de sodio, molibdato de sodio, borato de sodio, benzoato de sodio y silicato de sodio. Nótese que todos estos son sales de sodio. Sólo el componente izquierdo de estas sales es el inhibidor (fosfato, benzoato, silicato, etc.). Estas sales se disocian en el agua, o sea que se separan en sodio con carga positiva y el inhibidor con carga negativa. Se usan sales de sodio por la alta solubilidad del sodio; nunca se verán depósitos de sodio en un motor (con excepción, por supuesto, del sodio líquido incluido por diseño dentro del vástagos de válvulas de alta performance para el enfriamiento de la cabeza de la válvula).

Distintos inhibidores protegen distintos metales. Los datos muestran que la corrosión por transferencia de calor en el aluminio es mejor inhibida por los silicatos y en menor grado por los fosfatos y boratos. La corrosión del cobre es mejor inhibida por los molibdatos y en menor grado por los benzoatos; las soldaduras de estaño de alta se protegen más por molibdatos y fosfatos y menos por nitratos, silicatos y benzoatos; las soldaduras de estaño de baja están mejor protegidas con los tolitriazoles y molibdatos y menos por los nitratos y silicatos; el acero se protege mejor con fosfatos, molibdatos, y nitratos y peor con los tolitriazoles y benzoatos; el hierro está mejor protegido con los nitratos y menos por benzoatos, tolitriazoles y boratos.

Repasando los inhibidores más comunes, encontramos:

Fosfato es el inhibidor más común y también el más discutido. Es muy conocido como inhibidor en los metales ferrosos. Fabricantes americanos de autos han especificado el fosfato en los refrigerantes porque es altamente efectivo evitando la cavitación. Los fabricantes europeos especifican refrigerantes sin fosfatos porque tienen propensión a

precipitar en aguas duras. También tienen un efecto negativo en la tasa de corrosión del aluminio. Los efectos benéficos tienen su pico en concentraciones de 3 g/l y bajan a más bajas y más altas concentraciones. Concentraciones típicas van de 0 a 8 g/l.

Nitrato es incluido en todas las formulas por su eficacia en la prevención del picado de los radiadores de aluminio, sin ningún efecto negativo con el resto de los metales. Una concentración típica es 2 g/l.

Tolitriazol es similarmente incluido en todas las formulas por su efectividad en prevenir la corrosión en el cobre. Una concentración típica es 1 g/l.

Molibdato es un aditivo ampliamente benéfico. Previene la corrosión de muchos metales y actúa en sinergia con fosfatos y silicatos para prevenir la corrosión en otros. El molibdato también parece prevenir la cavitación; se lo selecciona usualmente para tener esta función en refrigerante sin fosfatos. Concentraciones típicas son de 2 a 3 g/l.

Borato es usado comúnmente como refuerzo. Los refrigerantes americanos tienen un pH de 10 o más, mientras que los Europeos tienen de 7 a 8.5. En servicio, los refrigerantes americanos bajan a 8. Desafortunadamente los boratos tienen un efecto directo y negativo en la corrosión del aluminio. Una concentración típica es 4 g/l.

Benzoato (y Nitrito, el cual no fue mencionado) es parte de la formula de inhibición de corrosión del British Standards Institute [BSI]. Benzoato es más común en las formulas europeas que en las americanas. Vukasovich y Sullivan encontraron que no es efectivo protegiendo hierro a concentraciones más bajas que 5% (que es una concentración desmesuradamente alta). Por otro lado, parece que no ofrece protección al acero y a la soldadura en concentraciones más bajas. Una concentración típica es 5 g/l.

Finalmente está el silicato, que parece ser lo mejor en protección para el aluminio. El problema con los silicatos es que no son indefinidamente estables en solución. Otros aditivos pueden usarse de cierto modo para estabilizar a los silicatos. 2 g/l es una concentración efectiva.

Teniendo todos estos inhibidores juntos, una combinación de benzoato, molibdato, borato, nitrato, tolitriazol y silicato es el mejor paquete de aditivos sin utilizar fosfatos. La parte sin silicato del paquete es efectiva en la prevención de la corrosión del aluminio, y da un buen sistema de resguardo para los bloques de aluminio.

Cavitación: Es el proceso por el cual fluctuaciones instantáneas de presión causan la formación y posterior colapso violento de burbujas de vapor, ejerciendo grandes fuerzas mecánicas sobre las superficies metálicas. Como vimos antes, la erosión corrosiva es el proceso por el cual un líquido que fluye sobre una superficie metálica destruye su filme protector, dejándola desprotegida contra la corrosión, y también contra la cavitación. Los resultados de ambos procesos son muy similares y conducen a daños severos localizados.

Además de las bombas de agua, se produce el fenómeno de la cavitación en el lado del agua de los cilindros de motores diesel con diseño de "camisas húmedas". Las explosiones del combustible producen pequeños y abruptos incrementos en el diámetro del cilindro, que al contraerse generan zonas de baja presión y burbujas de vapor. Al volverse a expandir el diámetro del cilindro en la siguiente explosión del combustible, esas burbujas estallan sobre

la superficie exterior del cilindro, arrancándole partículas de metal, en el fenómeno que se conoce como “pitting” o erosión por cavitación

La tasa de cavitación esta afectada por un número de factores. Subiendo la densidad del fluido o su punto de ebullición se incrementa la cavitación mientras que incrementando la viscosidad, compresibilidad o la cantidad de gases disueltos se tiende a reducirla. Algunas de estas propiedades se ven afectadas por los aditivos de los refrigerantes por lo que este efecto debe tenerse en cuenta al elegir un refrigerante en particular. Por lo demás, otra función importante de los Glicoles utilizados como bases refrigerantes es elevar la viscosidad de la mezcla con agua. Altas viscosidad van a reducir la cavitación en la bomba de agua. PG y EG ambos aumentan la viscosidad del refrigerante, no así el metanol.

Formación de Depósitos: Los depósitos son incrustaciones duras de color blanco salino que se adhieren firmemente a las paredes de metal. Se forman cuando en condiciones de variación de temperatura, las sales minerales menos solubles se precipitan en las partes más frías del sistema, usualmente en el radiador y la bomba. Algunos depósitos en el radiador pueden formar una barrera dura e insoluble que bloquea los ductos. Depósitos en la bomba de agua dañan los sellos.

El principal factor que incide en la formación de depósitos es la dureza del agua, que es una medida de la cantidad de minerales que ella contiene, usualmente calcio, cloro y magnesio, en forma de sales que tienden a precipitarse. Además, los fosfatos, muy usados y efectivos como aditivos anticorrosivos del hierro, en presencia del aluminio, forman sales poco solubles en aguas duras, que se convierten fácilmente en depósitos.

Los fluidos refrigerantes se deben fabricar con aguas desmineralizadas de muy baja dureza, y deben incluir en su composición aditivos que estabilicen y mantengan disueltas las sales.