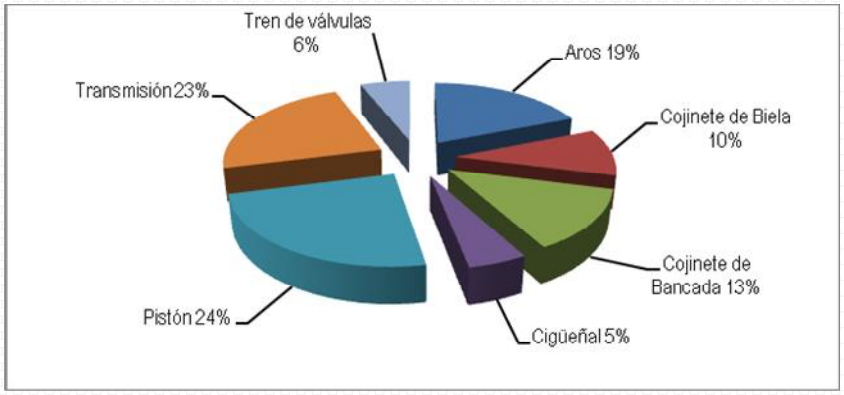
DIFUSIÓN TÉCNICA

El sistema de enfriamiento y los fluidos refrigerantes

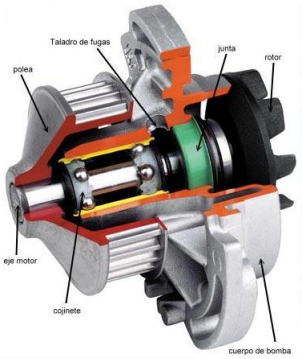
Los motores de combustión interna distan mucho de ser eficientes en la conversión de energía química en potencia mecánica. La pérdida de energía por fricción no solo se traduce en rozamiento interno del motor, la fricción también genera calor :



Aproximadamente un 70% o más de la energía generada por la combustión, se pierde en calor, por ello el sistema de refrigeración es un participante tan importante en el motor como lo es el lubricante.
Solo una pequeña parte de esta energía desperdiciada es utilizada en la calefacción del habitáculo en el caso de un automóvil o vehículo de transporte, y solo en ciertas épocas del año.
Es sabido que un motor funciona correctamente y aprovecha lo mejor posible la energía generada en la combustión a una temperatura relativamente alta.
Un motor frío es poco eficiente en este aprovechamiento, consume más y genera mayor contaminación. Por otro lado un motor con exceso de temperatura, estará siempre al borde del colapso.
Los sistemas de refrigeración han sido diseñados para permitir que esta temperatura de funcionamiento óptima sea alcanzada lo más rápidamente posible, y una vez alcanzada, mantenerla estable sin grandes variaciones.
Aunque no lo apreciemos directamente, una correcta formulación y dosificación del fluido refrigerante ayudará a ahorrar combustible.
En general existen dos sistemas de refrigeración usados habitualmente, por aire y por agua.
Ambos utilizan un fluido para intercambiar el calor generado (calor significa energía en tránsito) con la atmósfera.
En el primero, el aire circundante refrigera por convección al circular por el aleteado diseñado para tal fin.
En los motores de automóvil refrigerados por aire que se encuentran instalados en el vano motor, esta refrigeración debe ser forzada mediante turbinas (recordemos el viejo escarabajo VW o los que tengan más memoria, los antiguos camiones Deutz)
En las motocicletas esta refrigeración se produce en forma normal cuando la moto está en movimiento, pero al detenerse, esta circulación de aire fresco se interrumpe, por lo que las piezas metálicas que lo componen sufrirán amplias dilataciones. El lubricante juega en este caso un papel preponderante en el equilibrio térmico del motor, siendo sometido a mayores exigencias que en un motor enfriado a agua.
De todas maneras, si el diseño es bueno, la disposición de las aletas provocará una mínima circulación de aire por convección, es decir que el aire tomará esta energía de la superficie del motor caliente, se dilatará, ascendiendo y dando lugar al aire más frio que tomará nuevamente el calor del motor, repitiendo el ciclo.
Los motores con este tipo de refrigeración, si bien no tienen el problema de congelamiento del líquido refrigerante ni enfrentan los riesgos de quedarse sin fluido, tienen la desventaja que deben ser previstas tolerancias de armado (holguras) mayores para enfrentar estas importantes dilataciones en sus partes.
Esta condición de mayores holguras, limita su utilización en los vehículos modernos donde se requiere, cada vez más, un mejor uso de la energía y menores grados de contaminación.

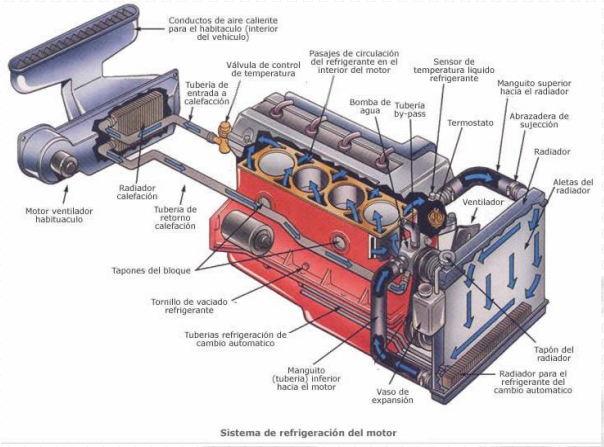
Las mayores holguras entre los metales de estos motores provocan, en cierta medida, pérdidas de energía por movimientos innecesarios, mayores rozamientos, etc.
También limita el tamaño del motor respecto a su potencia, a mayor potencia, mayor necesidad de superficies de disipación de calor, mayor cantidad y tamaño de aletas disipadoras y por ende mayor tamaño y peso.

Al aumentar cada vez más los requerimientos de potencia y menores tamaños, aumentó también la capacidad de generar calor en los motores modernos.
El enfriamiento por agua forzado mediante una bomba, permite un manejo de estas amplitudes térmicas, ubicando la temperatura de funcionamiento en los 95-100 °C que necesita un motor para funcionar equilibradamente, independientemente de la temperatura exterior y de si el vehículo se encuentra circulando, o detenido y con el motor en marcha.



La bomba succiona líquido por una entrada ubicada en el centro de la carcaza donde se aloja el rotor, allí se genera un vacío creado por la fuerza centrífuga del rotor que envía el fluido nuevamente al circuito, generando la circulación por el motor y por el radiador.
Es a estas temperaturas de 95-100 °C donde la cámara de combustión se encuentra lo suficientemente caliente para ayudar en la vaporización del combustible inyectado. Como vemos, no solo es cuestión de aumentar las presiones de inyectado, la gasificación del combustible se produce también por el mantenimiento de una temperatura adecuada de la cámara de combustión.
Paredes relativamente “frias” de la cámara provocarán que el combustible se adhiera a sus paredes, combustionándose mal, ensuciando el aceite y generando mayor contaminación ambiental.
Y esta condición es válida tanto para motores nafteros (ciclo Otto) como para los Diesel.

La refrigeración por agua ha permitido mejorar los diseños de los vehículos, pudiendo utilizarse menor cantidad de material en el motor en si mismo, ya que la disipación de calor se efectúa a través de un liquido, el cual, aunque debe estar en contacto directo con la superficie caliente, la disipación de esta energía puede hacerse a cierta distancia del motor.
La bomba funcionando solidaria, aún con el vehículo detenido, ayuda a mantener estable la temperatura.
Con mangueras o conductos puede conducirse este líquido cargado de energía casi a cualquier distancia lógica del motor.
Contribuyendo de esta forma a facilitar el diseño estético, aerodinámico y ergonómico de los vehículos.



Sistema de refrigeración del motor

Tengamos en cuenta que la utilización de la electrónica ha permitido sacar mayor rendimiento del combustible con menor polución. Pero esto está íntimamente ligado a la lectura de todas las variables que le entregan los sensores y transductores que se encuentran en el motor e incluso en las transmisiones.
La temperatura del agua es una de ellas. Mientras la temperatura del agua no alcance un nivel determinado, la computadora de inyección interpretará que el vehículo aún está frio y mantendrá los inyectores abiertos por más tiempo, entre otras cosas, enriqueciendo la mezcla y consumiendo más combustible y contaminando más.

El termostato y los electroventiladores son contribuciones muy importantes en esta acción de mantener temperaturas ideales de funcionamiento en los motores modernos.

Incluso el diseño de la bomba de agua es crucial en este equilibrio; el agua circulando muy rápido dentro del circuito, se “carga “ menos de energía y transporta menos calor hacia el radiador, aumentando la temperatura del motor.
La temperatura de la cámara de combustión puede llegar a los 2.500 °C, lo que da una idea de la importancia del enfriamiento correcto de estas.
La tapa de cilindros y las válvulas de admisión y escape son asimismo puntos críticos de buena refrigeración.
Si el flujo refrigerante se interrumpe, los metales pueden alcanzar rápidamente su punto de fusión y soldarse entre sí, lo que significa la destrucción del motor.

Un fluido refrigerante mal formulado, de mala calidad e incluso uno de buena calidad, pero diluido en la proporción incorrecta hará que este balance térmico necesario en los motores modernos no sea alcanzado, afectando incluso al lubricante, el cual no alcanzará totalmente su estado de mejor fluidez y al mermar su caudal, provocará desgastes anticipados.

Los fluidos refrigerantes/anticongelantes deben cumplir su función en cualquier parte del planeta y en cualquier clima, al igual que los lubricantes.
Es lógico que una característica refrigerante será la que se tendrá más en cuenta en un clima cálido y la de anticongelante en un clima frío.
El agua es uno de los refrigerantes más efectivos, pero falla en el momento de prevenir la corrosión, ebullición y el congelamiento, y deberá ser desmineralizada para evitar la formación de depósitos.
El agua aumenta su volúmen tanto en frio como en caliente. En el primer caso, si es usada como refrigerante sin mezclar, al congelarse, aumenta su volumen sin desplazarse, provocando grietas o roturas en el block del motor.
En cambio cuando aumenta su volumen en caliente, esto es compensado en los sistemas de refrigeración moderna, con el vaso de recuperación.

Para mejorar esta condición se utilizan básicamente mezclas de agua desmineralizada (el agua desionizada es particularmente agresiva con los metales, ya que en contacto con el ambiente absorbe el CO_2 atmosférico, formando ácido carbónico y aumentando su acidez) y etilenglicol.
Antiguamente se utilizaban sales y alcohol como anticongelante, pero la alta volatilidad e inflamabilidad del alcohol lo hacían poco confiable.
Y las sales, en un medio que combina diferentes metales sumergidos en un electrolito, se asemejaban más a una pila que a un motor, generando corrosión por corrientes galvánicas.

El etilenglicol es un compuesto químico que pertenece al grupo de los glicoles. Se fabrica a partir del óxido de etileno (gases de la destilación del petróleo)
Es transparente, espeso como el almíbar, no tiene olor, y su sabor es dulce. Se lo utiliza también en la fabricación de líquidos de freno (básicamente, son lo mismo)

Si tomamos por separado las temperaturas de congelamiento del agua (0°C) y del etilenglicol a -12°C aproximadamente, al mezclar los dos se obtiene lo que se llama descenso crioscópico del punto de congelamiento o depresión del punto de congelamiento, por lo que la temperatura a la que se congelará esta mezcla será de -37°C aproximadamente.
Un ejemplo interesante de descenso crioscópico se puede experimentar con una botella de cerveza en un frezzer..
Una vez alcanzada, el envase y el líquido, a la temperatura del refrigerador, se la retira lentamente sin agitarla.
Una vez abierta, se observa que el líquido está frio, pero no congelado. Golpeando suavemente con una cuchara en el pico, el líquido se congelará inmediatamente.

Los requisitos de un líquido refrigerante deben ser:
a) Alto calor específico o calor latente (cuanto mayor es el Calor Específico de una sustancia, mayor será la temperatura absorbida por volumen de refrigerante en circulación) y buena conductividad térmica.
b) Buena fluidez dentro del rango de temperatura de uso.
c) Bajo punto de congelamiento.
d) Alto punto de ebullición.
e) No ser corrosivo para los metales y no degradar plásticos, gomas, etc.
f) Estable químicamente dentro de un rango de uso establecido.
g) No generar espuma.
h) Baja inflamabilidad.
i) Costo razonable.
j) Razonablemente compatible con otros refrigerantes.
k) Baja toxicidad.
l) Adicionado con amargantes que impidan su consumo por niños o animales.
J) Adecuado PH. Normalmente su valor se ubica en 8.

Hay momentos en el funcionamiento de los motores donde el refrigerante puede llegar a temperaturas de entre 120 y 135°C. Estas temperaturas pueden hacer entrar en ebullición el refrigerante, en estos casos deben agregarse cantidades adicionales de etilenglicol.
Los sistemas modernos de refrigeración son presurizados. Esto hace que la temperatura de ebullición del agua sea mayor, lo mismo ocurrirá con las mezclas de agua /etilenglicol.
Otra forma de reducir la generación de calor es utilizando lubricantes que posean mayores cualidades antifriccionantes y buenas viscosidades que aseguren su correcta bombeabilidad, equilibrando más eficientemente las diferencias de temperatura dentro del motor.

Otro de los integrantes fundamentales del sistema de refrigeración es el radiador. Cumple básicamente funciones de intercambiador de calor entre la fuente (el motor) y la atmósfera. Su construcción moderna en aluminio garantiza, gracias a la mejor conductividad térmica de este material, una mejor evacuación de la temperatura. Incluso el diseño de los tubos donde circula el refrigerante, unidos a las aletas disipadoras, poseen aletas insertadas que aumentan la turbulencia del líquido aumentando la liberación de la energía acumulada.

Un elemento que contribuye al mantenimiento de la presurización y por ello, de una mayor temperatura de ebullición es la válvula de presión. Cuando el líquido refrigerante se calienta, se dilata aumentando la presión dentro del circuito cerrado, que al igualar la presión a la que está calibrada esta válvula, la abre, permitiendo que el líquido pase al vaso recuperador.
Este proceso desplaza el aire presente hacia fuera del sistema. Una vez que el refrigerante se enfría, se genera un vacío en el circuito que abre otra válvula recuperando refrigerante del vaso nuevamente al circuito.

El termostato es un autómata básico que permite que el motor alcance la temperatura de funcionamiento correcta y luego la mantiene constante. Abriéndose entre el rango de 80 y 90 °C, permite que el líquido circule por el radiador, abriéndose totalmente cuando el refrigerante alcanza los 95-105 °C.
Un error habitual es retirarlo totalmente si ha fallado, y no reemplazarlo.
Los mecánicos prueban su funcionamiento, simplemente colocándolo en agua caliente, donde la temperatura lo abrirá, ya que es una llave de normal cerrado.

El ventilador es otro elemento que trabaja para mantener la temperatura constante forzando el paso de aire a través del radiador. Son, generalmente en los vehículos modernos, independientes del régimen del motor, controlados por un bulbo sensor de temperatura o por la computadora de gestión, que recibe los datos del sensor y obra en consecuencia.
En los motores más antiguos, estas hélices giraban solidarias al régimen del motor, por lo que el forzado de circulación del aire era menor y los motores sufrían variaciones térmicas más amplias. Una solución intermedia son los acoplamientos viscosos de la hélice. En la actualidad se ha generalizado el sistema que vemos en la imágen.

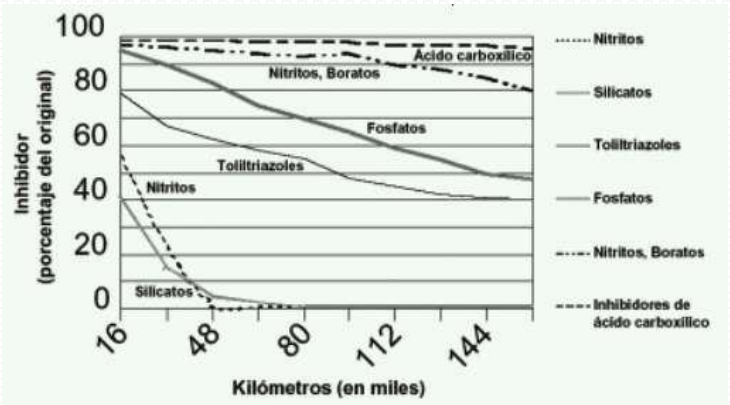
Volviendo al tema de los líquidos utilizados como refrigerante/anticongelante, es el etilenglicol el más adecuado hasta ahora. Si bien no cubre todos los requerimientos de un refrigerante ideal, es el que más se acerca. El monoetilenglicol posee un calor específico de aproximadamente 60% del valor del agua, pero si se lo mezcla en una proporción 50:50 con agua, este valor de calor específico aumenta al 80%, mejorando el transporte de calor.
Pruebas demuestran que un motor funcionando con una mezcla de 50:50 puede funcionar un 40% más de tiempo que si se lo refrigera con agua sola, hasta que se llegue al punto de ebullición.
El fluido refrigerante/anticongelante como preparado, también es partícipe en evitar la corrosión de los metales y la degradación de los no metales presentes en el circuito.
La corrosión excesiva de los metales y la degradación de mangueras, sellos, empaquetaduras, etc. pueden llegar a ocasionar pérdidas y fugas de líquido a través de orificios y grietas, con las consecuencias previsibles.
Los productos de la corrosión pueden depositarse en lugares que impidan gradualmente la normal circulación de refrigerante y el intercambio de calor superficie-fluido.
Se calcula que un espesor de 1 cm de depósito equivale a una pared de 4 cm de hierro en cuanto a su tasa de transferencia de calor.
O sea que estamos aislando la superficie que debería estar en contacto directo con el refrigerante.
Los conductos de circulación de refrigerante deben ser diseñados y fabricados para dar al fluido la mejor circulación posible. Evitando lugares de ángulos vivos donde puedan depositarse estos productos de la corrosión.
Incluso un tapón de block colocado más adentro o más afuera generará un lugar donde se facilite la acumulación.
Una manguera puesta más allá del límite marcado para su instalación, dejará espacios abiertos donde la velocidad de circulación será menor, generando depósitos y corrosión en la toma.

En definitiva, todos estas situaciones llevarán al recalentamiento del motor, paso de refrigerante al aceite (por mayores presiones) e incluso a la cámara de combustión, con las consecuencias conocidas.

El líquido refrigerante se ensucia por los subproductos de la corrosión. El cambio de color que podemos ver en los vasos de recuperación, es solo una parte de estas incrustaciones. La mayoría ya se han fijado en el interior de los conductos.

Cambiando el líquido solo se elimina una pequeña parte de estos. Pero los que permanecen continuarán su tarea de corroer los metales, hasta ocasionar la pérdida de fluido.

Los refrigerantes/anticongelantes/anticorrosivos modernos son basados en monoetilenglicol, se llamen orgánicos (tecnología AOT=Acid Organic Technology) o inorgánicos (o minerales=silicatos).
Su diferencia se basa en la utilización de carboxilatos (química orgánica) que se utilizan también en pinturas y tintas, fabricación de neumáticos, aditivos para lubricantes, para combustibles, etc., como paquete anticorrosivo en los llamados refrigerantes orgánicos, o en la utilización de sales inorgánicas en los llamados refrigerantes inorgánicos.
Los líquidos inorgánicos poseen una alta reserva alcalina (contrarresta la acción de los ácidos corrosivos), en tanto los orgánicos poseen valores inferiores. Pero mediciones comparativas han podido determinar que los valores de PH de los orgánicos, si bien son algo menores, se mantienen por mucho más tiempo de uso.
Por ejemplo los anticongelantes de última generación presentan una disminución de su PH en 1,5 unidades al cabo de 150.000 km de uso, mientras que un anticongelante tradicional presenta una caída de 3 unidades en la misma cantidad de kilómetros.
Es por ello que una de las características de estos fluidos es su larga vida.
Las ventajas generales de los orgánicos respecto de los inorgánicos son:
1) No se degradan. Los carboxilatos no se consumen cuando actúan, por lo que el efecto anticorrosivo dura más tiempo y alarga el período de sustitución.



2) La no utilización de Nitritos, Aminas y Fosfatos, que se están prohibiendo en algunos países por ser precursores de sustancias cancerígenas.
2) Los carboxilatos no son tóxicos=más ecológicos. (igualmente el etilenglicol utilizado si lo es)
Las sales inorgánicas protegen cubriendo la superficie, aislándola. El sistema es efectivo del punto de vista de la corrosión, pero reduce la transferencia eficiente de calor.
Los ácidos carboxílicos por el contrario, actúan solamente en lugares susceptibles de producirse corrosión anódica, dejando la superficie en su mayoría libre para mejor transferencia térmica.
Al no ser sales minerales, generan menos depósitos que las sales orgánicas. No interrumpiendo la transmisión térmica entre la superficie a refrigerar y el fluido.
3) Tienen baja conductividad eléctrica. La corrosión galvánica se ve disminuida.
4) Mezclabilidad: los líquidos orgánicos pueden mezclarse ante una emergencia con otros fluidos, pero se desaconseja ya que su protección anticorrosiva puede verse alterada y no ser tan efectiva como su formulación original.
5) Los colores que poseen las diferentes marcas son distintivos proporcionados por los fabricantes, para su mejor identificación. Incluso permiten tener a simple vista una idea de la presencia de mezcla. No tienen ningún tipo de ingerencia o participación en la perfomance del fluido.
Algunas marcas utilizan colorantes flúo para poder identificar fugas con lámparas ultravioleta.
6) Mayor protección frente a la cavitación.
Este fenómeno es fácilmente observable en las hélices de las embarcaciones. La cavitación o aspiración en vacío es un efecto hidrodinámico que se produce cuando el fluido pasa a gran velocidad por una arista afilada. Esto produce una descompresión del fluido (Principio de

Bernoulli) en la cara de la hélice opuesta a la de ataque, formándose burbujas, no de aire, si no de vapor. El efecto de la cavitación es similar al que ocurre con la ebullición.
Este descenso de la presión provoca que el agua alcance un punto de vapor de forma tal que las moléculas pasan inmediatamente al estado gaseoso (recordemos que a menor presión, el agua hierve a menor temperatura-bajando lo suficiente la presión, es posible hacer hervir agua a temperatura ambiente), formándose burbujas o cavidades. Estas burbujas viajan a zonas de mayor presión e implotan (el vapor regresa al estado líquido súbitamente), aplastándose violentamente, produciendo una estela de gas y removiendo la capa de óxido (pasivado) de la superficie donde se depositan. Causando la constante reposición de los aditivos sobre la superficie, hasta que se agotan, sobre todo los inorgánicos.
Puede producirse cavitación también, en la superficie expuesta al fluido, de las camisas de cilindro (sobre todo en las flotantes), por la acción de subir y bajar del pistón, provocando vibraciones en la camisa que generan de hecho, burbujas de vapor.
Este efecto quita la capa de óxido (metal pasivado) que cubre el metal y lo protege, dando paso a la corrosión.
Además, la presencia de burbujas de aire representan la ausencia de refrigerante, pudiéndose producir puntos calientes en la superficie a refrigerar.
Otro producto utilizado como base en la fabricación de fluidos refrigerantes, es el propilenglicol. Su toxicidad es mucho más baja, ya que está permitido para uso humano en cremas humectantes, lubricantes íntimos, anticongelante de alimentos, toallas para bebes, espuma de baño, champúes, etc..
Los líquidos refrigerantes/anticongelantes de propilenglicol y carboxilatos son los denominados de baja toxicidad y larga vida.

La desventaja es su costo más elevado respecto al etilenglicol.

En resúmen, los elementos utilizados en general en los fluidos hasta ahora, son:

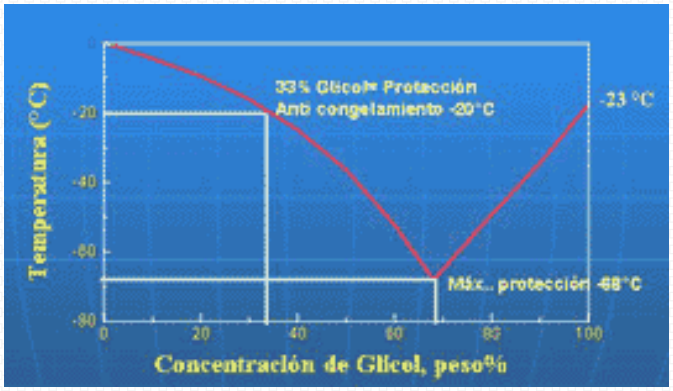
Base monoetilenglicol:
Base utilizada en la construcción de los refrigerantes tradicionales para motores en general. Son tóxicos. Poseen buena biodegradabilidad. Alto calor específico.
Base propilenglicol:
No son tóxicos. Mala biodegradabilidad. Calor específico más bajo. Alto costo. Usos muy específicos.
Nitritos, Nitratos, Aminas y Fosfatos:
Prohibidos como inhibidores de corrosión en algunos países. Son precursores de sustancias cancerígenas. Se agotan relativamente rápido. Los Nitratos protegen el aluminio y las soldaduras, pero se salen de suspensión y causan escamas. Los Nitritos protegen el hierro de la cavitación, pero se agotan. Los Fosfatos protegen el acero, el hierro y el aluminio, pero son inestables, se desgastan rápido y forman depósitos en presencia de aguas duras. Se determinó, que en promedio, los silicatos y nitratos, antes de los 40.000 km se encuentran a menos del 10% de su capacidad inicial.
Boratos, silicatos, nitratos:
Duración limitada. El borato protege el hierro, pero es corrosivo al aluminio a altas temperaturas.
Los silicatos protegen el Aluminio y el Hierro, pero se agotan rápidamente, forman películas que interfieren en la transferencia térmica, y en exceso producen geles de color verde afectando la circulación. Algunos fluidos modernos incluso pregonan Silica-Free
Molibdatos y benzoatos:
Inhibidores de corrosión de gran duración.
Acidos carboxílicos:
Utilizados en los fluidos de nueva tecnología. Medioambientalmente compatibles. Fluidos de larga vida. En promedio se ha determinado que los ácidos carboxílicos mantienen cerca del 100 % de su concentración después de 160.000 km.

Antiespumantes:
Silanos (derivados del silicio). Evitan la formación de espuma.
Agente amargante:
Al ser las Bases utilizadas (etilenglicol y propilenglicol) de sabor dulce, se añade un elemento amargante inerte para evitar la ingestión accidental, por parte de niños y animales.
Aditivos anticalcáreos:
Evitan que las sales de calcio en general, se depositen en los conductos de refrigeración.
Colorantes:
Identificación del fabricante e identificación visual de mezcla. Inerte desde el punto de vista de comportamiento.

Los tipos de refrigerantes presentes en el mercado han sido categorizados por el IRAM en cuatro tipos:

TIPO A: concentrado, a base de etilenglicol.
TIPO B: concentrado, a base de propilenglicol.
TIPO C: prediluido, al 50% con agua destilada, a base de etilenglicol.
TIPO D: prediluido, al 50% con agua destilada, a base de propilenglicol.

Como se observa, se permite comercializar fluidos listos para usar, pero solo en la proporción 50:50. Esta es una proporción utilizada habitualmente, otras varían entre 30 y 60%. Por ejemplo una concentración de 33% protege de la congelación hasta -20 °C.



De todas maneras, el reducir la dilución (más agua que refrigerante/anticongelante) solamente por habitar en un clima cálido, hará bajar la concentración de anticorrosivos y demás características.
Sin embargo aumentar mucho la concentración en un clima frio tampoco es la solución, ya que pasado el 68% de dilución (32% agua/68% refrigerante) la temperatura de congelación sube, reduciendo el efecto anticongelante. Con el consiguiente riesgo de dificultar la bombeabilidad del fluido.
En conclusión, los fluidos refrigerantes son tan importantes en el correcto funcionamiento de un vehículo, como lo son los buenos lubricantes, combustibles y líquidos de freno e hidráulicos en general.
Todos ellos forman parte de un conjunto de piezas indispensables interactuando entre si, donde una sola que falle afectará irremediablemente a las otras, con resultados atentatorios contra nuestra economía e incluso contra nuestra vida misma y la de los demás.

Dto. Técnico