

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**ANÁLISIS DE FALLA EN BOMBAS DE AGUA PARA  
MOTORES A GNV**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECÁNICO**

**JUAN CARLOS EGOÁVIL ÑÁÑEZ**

**PROMOCIÓN 2009-I**

**LIMA-PERÚ**

**2012**

# **“ANÁLISIS DE FALLA EN BOMBAS DE AGUA PARA MOTORES A GNV”**

## **ÍNDICE**

Introducción.....	1
Capítulo 1: Reseña de los motores a GNV.....	3
Capítulo 2: Descripción general del sistema de refrigeración de un motor de combustión interna.....	8
2.1 Intercambiador de calor.....	8
2.2 Protección anticongelante.....	9
2.3 Protección antiebulente.....	9
2.4 Elementos del circuito de refrigeración.....	11
2.4.1 La bomba de agua.....	11
2.4.1.1 La carcasa.....	13
2.4.1.2 El rodete.....	14
2.4.1.3 El rodamiento.....	14
2.4.1.4 El eje pasante.....	14
2.4.1.5 La polea o brida.....	14
2.4.1.6 El retén.....	14
2.4.1.6.1 Partes.....	16
2.4.1.6.1.1 Retenes mecánicos.....	16
2.4.1.6.1.2 Sellos secundarios.....	18

2.1.1.6.1.3 Resorte.....	19
2.1.1.6.1.4 Elemento de transmisión de torque.....	20
2.1.1.6.2 Principio de operación.....	20
2.1.1.6.2.1 Parte rotativa.....	21
2.1.1.6.2.2 Parte estática.....	22
2.1.1.6.2.3 Fuerzas de apertura.....	24
2.1.1.6.2.3 Fuerzas de cierre.....	25
2.1.1.6.3 Fugas.....	26
2.1.1.6.3.1 Caras no paralelas.....	26
2.1.1.6.3.1.1 Luz convergente.....	27
2.1.1.6.3.1.2 Luz divergente.....	27
2.1.1.6.3.2 Depósitos y surcos por desgaste.....	28
2.1.1.6.3.3 Rendimiento del retén en glicol acuoso.....	28
2.4.2 El radiador.....	29
2.4.3 El ventilador.....	32
2.4.4 El termostato.....	34
2.5.5 El filtro.....	35
2.5 Descripción de refrigerante para motores de combustión interna.....	35
2.6 Descripción del circuito de refrigeración.....	40
Capítulo 3: Descripción y análisis del problema.....	41
3.1 Definición del problema.....	43
3.2 Organizar la recolección de información.....	49
3.3 Observar y registrar.....	51
3.4 Analizar la información obtenida.....	54
3.5 Determinar la causa básica.....	62

3.6 Proponer mejoras.....	69
3.7 Comunicar los resultados.....	72
3.8 Hacer las reparaciones según el manual.....	72
Capítulo 4: Análisis económico de un plan de mantenimiento para las bombas de agua .....	75
4.1 Escenario Uno: Monitoreo del refrigerante.....	75
4.2 Escenario Dos: Sin monitoreo de refrigerante.....	77
4.3 Comparativa de los escenarios propuestos.....	82
Conclusiones y recomendaciones.....	84
Bibliografía.....	87
Apéndice.....	89

## **PRÓLOGO**

En el presente informe de tesis, titulado “*Análisis de fallas en bombas de agua en motores a GNV*”, se estudian y analizan las fallas ocurridas en las bombas de agua de una flota de buses urbanos para determinar el origen y sugerir reparaciones para evitar la reaparición de la falla. El informe está dividido en 4 capítulos más un apartado dedicado a presentar las conclusiones y recomendaciones.

El primer capítulo es una reseña de la evolución de motores que utilizan como combustible el gas natural. El segundo capítulo es una descripción general del sistema de refrigeración de un motor de combustión interna, con énfasis en los elementos que se vieron involucrados en la falla analizada en este informe. El tercer capítulo aborda la descripción del problema, el análisis de la falla, la causa más probable de la falla y algunas sugerencias para la erradicación de las condiciones que originaron la falla. En el cuarto capítulo se comparan dos planes de mantenimiento. El primer plan contempla un mantenimiento preventivo. En segundo plan contempla un mantenimiento netamente correctivo. Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones para el problema analizado.

Este informe de tesis contiene en la parte final una lista bibliográfica y un anexo. La lista bibliográfica contiene los libros, artículos y direcciones de páginas web

referenciados a lo largo del informe. El anexo es un apéndice documental de catálogos y manuales consultados para la obtención de información técnica.

Por último, el autor desea mostrar agradecimiento a todas las personas que han colaborado de forma diversa en la elaboración de este informe; pero en particular a mis padres por su apoyo moral y al Doctor Juan Guillermo Lira Cacho por sus valiosos aportes y sugerencias como asesor académico.

## INTRODUCCIÓN

El corazón de todo sistema de refrigeración es la bomba hidráulica. La bomba es el componente que convierte energía mecánica en energía de fluido. Una bomba saludable permitirá que el sistema de refrigeración se desempeñe a su máxima eficiencia. Si la bomba está en mal estado, la respuesta del sistema hidráulico será menor y le restará eficiencia a dicho sistema. Un correcto mantenimiento de los sistemas de refrigeración asegurará que el motor entregue toda la potencia para el que fue diseñado. Un buen programa de mantenimiento preventivo garantiza al operador del motor muchas horas de operación sin problemas. Desafortunadamente, el sistema de refrigeración no se desempeña siempre a su nivel especificado debido a fallas inesperadas. En esas circunstancias se necesita diagnosticar y aislar la causa para eliminarla. Un diagnóstico adecuado es crítico para proveer un renovado rendimiento y vida útil extendida.

El objetivo de este informe es diagnosticar la causa del problema utilizando manuales de operación y mantenimiento para demostrar que no se debe a un origen mecánico (error en la selección de la bomba adecuada para este sistema) más bien que la falla tiene un origen químico.

El alcance de este estudio está limitado al análisis de falla en bombas de agua para motores marca Cummins modelo C 8.3GNV montados en buses de transporte público durante el año 2011 y que operan dentro de los parámetros recomendados por el fabricante en el manual del motor.

El método de trabajo empleado es el sugerido por el fabricante del motor. (árboles de diagnóstico y fallas). También utilizaremos el método de diagnóstico aplicado por el operador del bus, quien tiene muchos años de experiencia operando buses de reconocidas marcas. Adicionalmente nos apoyaremos en el juicio de expertos independientes. La combinación de estos métodos y juicios enriquece la experiencia de diagnóstico y corrección de fallas.



## **CAPÍTULO 1**

### **RESEÑA DE MOTORES GNV**

El gas natural ha sido considerado por mucho tiempo como el combustible alternativo ideal para el sector del transporte. En efecto, el gas natural ha sido utilizado desde la década de 1930 en los vehículos de transporte.

Según la Natural Gas Vehicle Coalition de Estados Unidos, en la actualidad hay 150 000 vehículos alimentados con GNV en las carreteras de los Estados Unidos, y más de 5 millones de vehículos a gas natural en todo el mundo. De hecho, el sector del transporte representa el 3 por ciento de todo el gas natural utilizado en los Estados Unidos. En los últimos años, las mejoras tecnológicas han permitido la proliferación de vehículos a gas natural, en especial para las flotas de vehículos que en conjunto consumen grandes cantidades de GNV, como taxis y buses de servicio público. Actualmente ya existen en producción (o en desarrollo para producción) vehículos con motor a gas natural que cubren toda la gama ofrecida desde pequeños turismos (vehículos pequeños de uso particular) hasta camiones, minibuses, furgonetas, e incluso vehículos pesados de servicio público (buses articulados). A pesar de los avances en la materia, una serie de desventajas limitan la producción en masa de vehículos a gas natural: rango limitado de autonomía, espacio ocupado por los tanques de almacenamiento del gas, un mayor costo inicial, y la falta de

infraestructura de recarga de combustible plantean impedimentos para la proliferación de vehículos a gas natural.

La mayoría de los vehículos de gas natural funcionan con gas natural comprimido (GNC, por sus siglas en inglés). Este gas es almacenado de similar manera que la gasolina o el diesel, es decir adjunto a la parte posterior o inferior del vehículo en un depósito de almacenamiento en forma de cilindro con tapas semiesféricas. Un tanque de GNC se puede llenar de manera similar, y en una cantidad similar de tiempo, a un tanque de gasolina o diesel. Este gas natural alimenta un motor de combustión interna de manera similar a los motores alimentados por otros combustibles. Sin embargo, en un motor GNC, varios componentes requieren modificaciones para permitir que el motor funcione con gas natural de manera eficiente. Muchos de estos vehículos, que originalmente sólo eran a gasolina, se han convertido para permitir que el vehículo funcione con cualquier combustible. Esta conversión es costosa, y el resultado en general es menos eficiente.

Hay muchas razones por las que los vehículos a gas natural están creciendo en popularidad y abundancia. Nuevas leyes de emisiones, más estrictas, exigen la reducción de gases de invernadero en las emisiones de vehículos. Por ejemplo, el estado de California tiene algunas de las normas ambientales más estrictas, muchas de los cuales son actualmente imposibles de obtener con vehículos alimentados con combustible convencional. El gas natural ofrece actualmente la alternativa disponible de combustión más limpia para usarse hoy el transporte y cumplir las normas ambientales de emisión de gases.

Además, el gas natural es muy seguro. Siendo más ligero que el aire, en caso de fuga simplemente se disipa en el aire, en vez de formar un peligroso charco de mezcla inflamable en el suelo como otros combustibles líquidos. Esto también evita la contaminación de las aguas subterráneas en el caso de un derrame. Los actuales tanques de almacenamiento de GNC son más resistentes y más fuertes que los tanques de gasolina.

El gas natural es una alternativa económica a la gasolina y a otros combustibles usados en transporte. Tradicionalmente, los costos de recarga de combustible en vehículos de gas natural han sido más baratos que la gasolina alrededor de un 30 por ciento y en muchos casos el costo de mantenimiento es más bajo comparados con los vehículos tradicionales de gasolina o diesel. Además del factor económico, muchos simpatizantes del gas natural sostienen que si el sector del transporte se vincula más con el abundante gas natural entonces disminuirá la dependencia del petróleo extranjero lo que permite una mayor seguridad en el suministro energético del país.

Una de las principales razones por insistir en combustibles alternativos es la reducción de emisiones perjudiciales para el medio ambiente. Se estima que los vehículos son responsables del 60 por ciento de la contaminación por monóxido de carbono, del 29 por ciento de las emisiones de hidrocarburos, y del 31 por ciento de óxido de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) en los Estados Unidos. Todas estas emisiones a la atmósfera contribuyen a la contaminación por smog, y aumentar peligrosamente los

niveles de ozono a nivel del suelo. Los vehículos son responsables de más de la mitad de la emisión de todos los contaminantes atmosféricos peligrosos, y alrededor del 30 por ciento de las emisiones totales de carbono en los EE.UU., que contribuyen a la presencia de "gases de invernadero" en la atmósfera. Los efectos ambientales de vehículos a gas natural son mucho menos perjudiciales que los vehículos a combustible tradicional.

Los vehículos diseñados para funcionar solamente con gas natural se encuentran entre los más limpios del mundo. De hecho, el Honda Civic GX, lanzado en 1997, tiene el motor de combustión interna más limpio jamás producido comercialmente. Este automóvil a gas natural emite tan pocos contaminantes que en algunas grandes ciudades las emisiones son más limpias que el aire que lo rodea. El estado de California, con algunas de las normas de emisión más estrictas de Estados Unidos, ha seleccionado y reconocido a este vehículo como uno que cumple y supera sus más estrictas normas, incluidas las de Vehículo de Bajas Emisiones (LEV), Vehículo de Emisiones Ultra-Bajas (ULEV), y Vehículo de Súper-Ultra-Bajas Emisiones (SULEV).<sup>1</sup>

Los camiones de clase 3 a 8 virtualmente eliminaron a la gasolina como combustible entre 1977 y 2002, impulsados por el aumento del precio de la gasolina, la ventaja comparativa de alta eficiencia y menor costo de los motores diesel, y los cambios en las regulaciones medioambientales. El mercado de camiones clase 8 pasó de ser 65 por ciento diesel a 97 por ciento diesel entre 1977 y 2002 (Fuente: Laboratorio

---

<sup>1</sup> [www.naturalgas.org](http://www.naturalgas.org)

Nacional de Argonne, "Análisis de las principales tendencias EE.UU. en camiones comerciales, 1977-2002"). Los recientes movimientos en el mercado indican que estamos en medio de un cambio igualmente profundo hacia el gas natural.

Mediante el uso de gas natural, la contaminación emitida es aproximadamente 23 por ciento menor en comparación a los camiones diesel. Los niveles de ruido del motor se redujeron significativamente, un beneficio para los barrios residenciales de las ciudades y suburbios. Y lo más importante, el costo del gas natural es mucho menor que el diesel, con un ahorro de \$ 1.50 o más por galón. Esto significa que un camión que consumía 10000 litros de diesel al año ahorra al propietario u operador alrededor de US\$ 15000 en costos de combustible.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> [www.waste360.org](http://www.waste360.org)

## CAPÍTULO 2

### DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

La finalidad suprema de todo sistema de refrigeración es mantener en todo momento la temperatura de servicio más apropiada a cualquier velocidad y en todas las marchas del motor. Entonces podemos dividir en tres las funciones del sistema de refrigeración:

2.1 **Intercambiador de calor.** No todo el calor energético del combustible se aprovecha para convertirlo en energía mecánica. La temperatura alcanzada durante la explosión<sup>3</sup> es de unos 2000 °C. El acero se funde alrededor de los 1400 °C. Esta elevadísima temperatura instantánea es rápidamente rebajada por la expansión de los gases y la entrada de gases frescos durante la admisión, pero si no se dispusiera de un efectivo sistema de refrigeración, los componentes metálicos del motor se dilatarían en exceso con el evidente riesgo de agarrotamiento. La temperatura en las paredes de los cilindros no debe sobrepasar los 260°C, puesto que los valores superiores a estos descompondrían el aceite, que perdería sus propiedades lubricantes. De todos modos, es conveniente que el motor trabaje a una temperatura lo más próxima posible al límite indicado. Si se disipa demasiado calor, se reduciría el rendimiento térmico. El

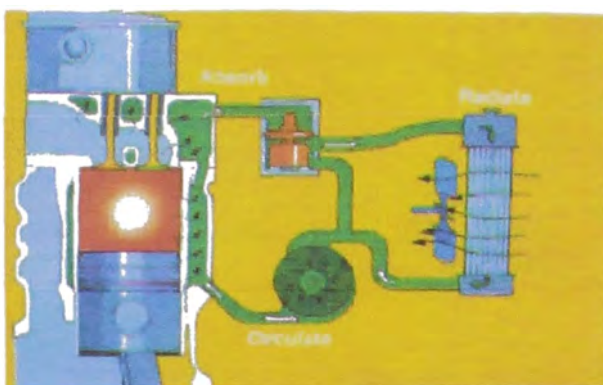
---

<sup>3</sup> "Manual de automóviles", página 177. Manuel Arias-Paz (2006)

35% del calor producido en la combustión se pierde en la refrigeración (esto es necesario para evitar que el calor generado alcance la temperatura de fusión de los metales involucrados) y el 35% en el escape (algunas veces se aprovecha algo de este calor en los turbocompresores), por lo que aproximadamente un 30% del calor útil para la transformarse en trabajo mecánico.

2.2 **Protección anticongelante.** La protección anticongelante impide que el refrigerante pase del estado sólido al líquido cuando el motor trabaja en ambientes de bajas temperaturas. Cuando el refrigerante se congela, la expansión volumétrica podría incluso fracturar el monoblock del motor.

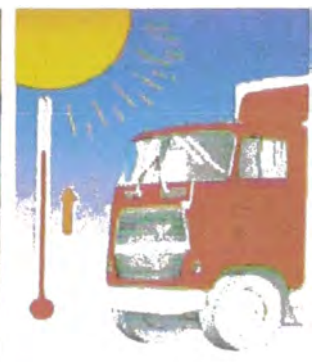
2.3 **Protección antiebullicente.** Es necesario evitar que el refrigerante entre en ebullición cuando circula por los canales de refrigeración del motor. El hecho de pasar a estado de vapor hace que se incremente la presión al interior del sistema de refrigeración y que no exista adecuado intercambio de calor, debido a que la transferencia térmica es mejor entre el metal y el líquido que entre el metal y el vapor.



- **Intercambiador de Calor (Radiador)**



**Protección  
Anticongelante**



**Protección  
Antiebullicente**

Figura 1: Funciones básicas del sistema de refrigeración.

De modo que el sistema de refrigeración instalado debe ser eficaz para evacuar la gran cantidad de calor que se genera, aunque sea a intervalos muy cortos de funcionamiento, tanto por el rozamiento de las piezas en movimiento como por la combustión de los gases en los cilindros. Pero a su vez, esta evacuación no debe ser excesiva pues de serlo se rebajaría el rendimiento del motor. Es decir, que la temperatura interna se debe mantener dentro de los límites de tolerancia de los materiales. La finalidad del sistema de refrigeración es mantener el motor a una temperatura de funcionamiento entre 90 °C y 100 °C aproximadamente <sup>4</sup>.

En líneas generales, los sistemas de refrigeración de motores de combustión interna con aplicaciones automotrices tienen el mismo perfil, con pequeñas variantes tales como que la bomba es movida por faja o por engranajes, intervalos de mantenimiento, tipos de filtro y refrigerante.

#### 2.4 **Elementos del circuito de refrigeración:**

El sistema de refrigeración automotriz está compuesto básicamente de:

- Bomba
- Radiador
- Ventilador
- Termostato
- Filtro

---

<sup>4</sup> Manual de operación y mantenimiento del motor BGE marca "Cummins".



### 2.4.1 **La bomba**

Una bomba es una máquina que transfiere energía de un rotor en movimiento hacia un fluido, es decir realiza un trabajo mecánico al mover el fluido. La bomba más usada en la industria automotriz para bombear refrigerante se representa con detalle en la figura 2; es del tipo centrífugo y se mueve por medio de una faja y una polea desde el cigüeñal. Recientemente se han empezado a usar bombas de accionamiento eléctrico. Tienen la ventaja de que permiten regular el caudal de refrigerante de acuerdo con las necesidades reales de refrigeración del motor, lo que redundará en el ahorro de combustible.

La parte móvil está compuesta por un plato con paletas. Este conjunto es llamado “rodete”. Ver figura 2. El líquido llega por el tubo L a la parte central de la bomba y las paletas, al girar, lo impulsan con fuerza hacia fuera, obligándolo a pasar a las camisas del bloque de cilindros. Para que no haya fugas de líquido por este eje, se rodea de un retén M, hecho de polímeros y metales, que se presiona contra el eje, impidiendo escapes de refrigerante. Los álabes del rodete dejan entre ellos algún espacio para que el líquido circule por efecto termosifón en el caso de que dejase de funcionar la bomba. Precisamente por la propiedad de dejar pasar al líquido en caso de avería, a esta bomba se la llama también impulsor, que a veces tiene la forma de hélice sencilla.

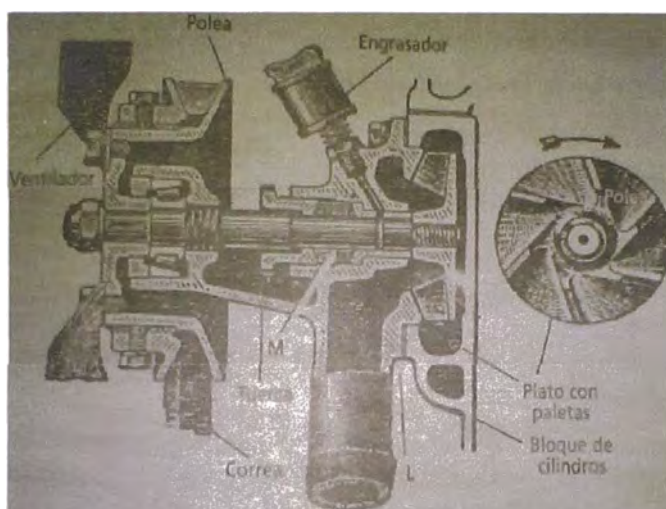


Figura 2: Corte sección de una típica bomba de agua automotriz

En nuestro caso de estudio, la transmisión de potencia hacia la bomba se hace a través de una faja ranurada en V con 8 canales<sup>5</sup>.

La bomba de agua hace circular refrigerante entre el motor y el radiador para prevenir el sobrecalentamiento del motor. En la bomba hay un rodete metálico cuyos álabes impulsan el refrigerante a través de la bomba. El rodete es montado en un eje que está apoyado en la carcasa de la bomba mediante un rodamiento y un retén. En el otro extremo del eje de la bomba está ubicada una polea. Una faja ranurada en V, de 8 canales, tipo serpiente (“snakebelt”) transmite la potencia entre la polea de la bomba y la polea del cigüeñal. La bomba está montada en el frente del motor para una fácil inspección.

Por cada revolución completa del eje la bomba desplaza una cantidad fija de refrigerante. El flujo de la bomba es proporcional a la velocidad del motor.

<sup>5</sup> Manual de operación y mantenimiento del motor BGE marca “Cummins”.

El cuerpo de la bomba está fabricado con fundición gris al igual que la polea, siendo esta última sometida además a un endurecimiento térmico<sup>6</sup> para mejorar sus propiedades mecánicas.

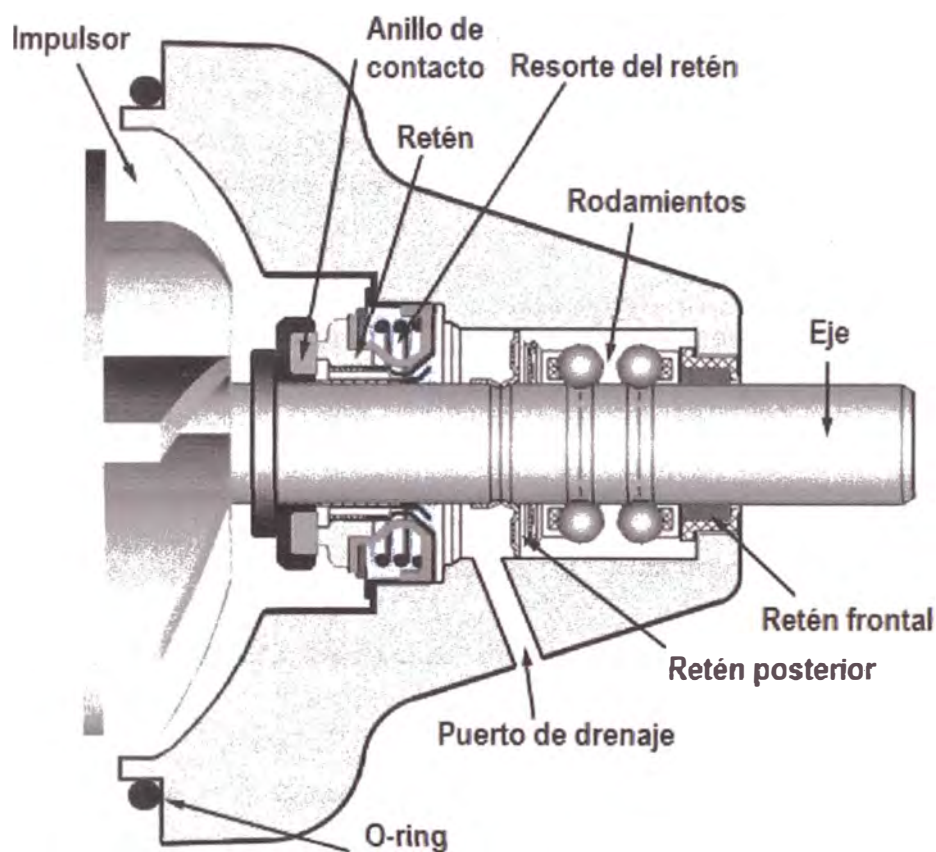


Figura 3: Componentes básicos de una típica bomba de agua automotriz.

2.4.1.1. **La carcasa**, que es una especie de caparazón exterior que encierra los componentes de la bomba. En nuestro caso está hecha de acero fundición, pudiendo estar además hecha de aluminio. En motores de última generación se utilizan carcasas de bombas hechas de acero estampado.

<sup>6</sup> Catálogo del fabricante "Cummins" para la bomba modelo 3800976.

2.4.1.2 El rodete, que gira y crea el flujo de refrigerante al interior del sistema de refrigeración.

2.4.1.3 El rodamiento, es el apoyo mecánico que permite el giro continuo del rodete.

2.4.1.4 El eje pasante, sobre el cual está montado el rodamiento, el rodete y la polea.

2.4.1.5 La polea o brida, la cual es la entrada de potencia al eje para generar la rotación continua del rodete.

2.4.1.6 El retén, que protege y separa el rodamiento del refrigerante y contaminantes.

Puesto que la bomba es el corazón del sistema de refrigeración, el retén puede ser considerado el corazón de la bomba.

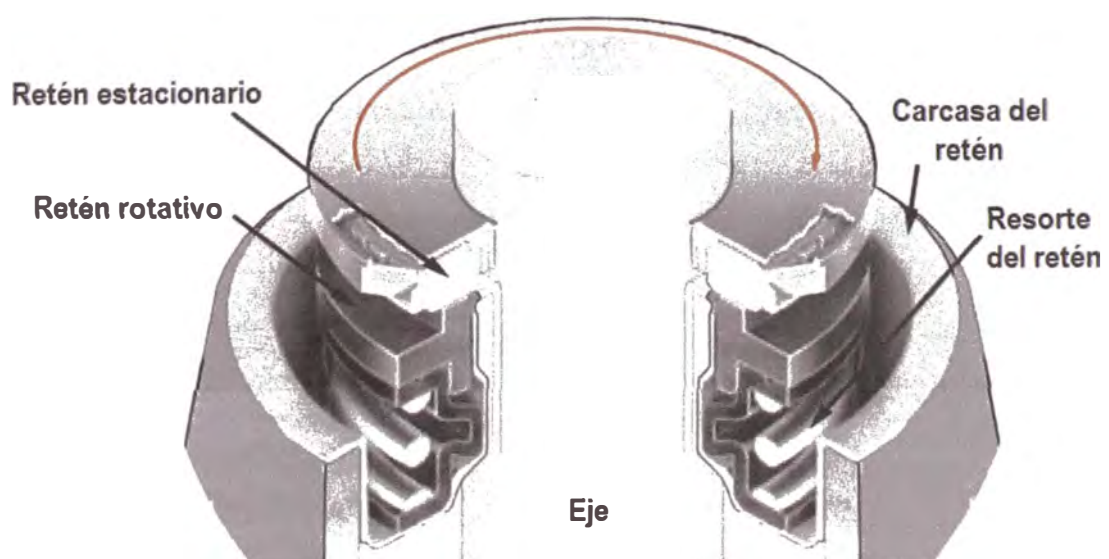


Figura 4: Corte transversal de un típico retén de bomba de agua automotriz.

El retén de la bomba de agua protege el rodamiento de ser expuesto al refrigerante o a contaminantes abrasivos. Ver figura 5. Una vez que el refrigerante y los contaminantes ingresan al alojamiento del rodamiento, el lubricante del rodamiento es lavado. Si la falla del retén no es detectada y la bomba no es reemplazada, el rodamiento finalmente fallará y posiblemente conducirá a una situación tal como juego excesivo en el eje y finalmente a un eje partido.

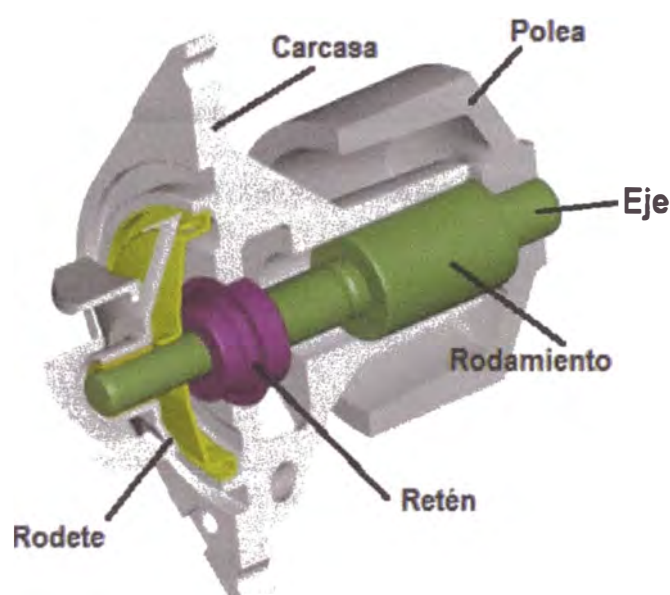


Figura 5: Corte transversal de la bomba de agua utilizada en los motores de este estudio.

Sin los apropiados alineamientos y composiciones de materiales, el retén podría causar falla prematura de la bomba en un relativamente corto periodo de tiempo.

En su forma más básica, el retén de la bomba combina una parte rotativa con una parte estacionaria. Cuando se instala y opera apropiadamente, la parte rotativa frota contra una película lubricante de solo 0.00025 mm.de espesor<sup>7</sup>, o lo que es lo mismo,0.25 micras. Como referencia, un cabello humano tiene un espesor entre 50 y 100 micras. Si la película es mayor en espesor, el medio bombeado comenzará a

<sup>7</sup>"Mechanical shaft seals for pumps", GrundfosInc, 2009.

fugar. Si la película adelgaza demasiado, las pérdidas por fricción se incrementarán y las superficies en contacto se sobrecalentarán. Esto desencadenaría una fuga del medio bombeado (en nuestro caso de estudio, este medio sería refrigerante de motor).

El rendimiento del retén es de gran influencia para el rendimiento de la bomba. Cuando funciona correctamente, el retén permanece desapercibido. Tan pronto como comienza una fuga, importantes problemas comienzan a manifestarse ya sea con la bomba misma o con el entorno. La importancia del retén de la bomba nunca debe ser subestimado durante el diseño, operación o mantenimiento de la bomba.

#### 2.4.1.6.1 Partes de un retén

Esta bomba utiliza un retén mecánico, el cual consiste principalmente de dos subcomponentes principales: una parte rotativa y una parte estacionaria. A estos se añaden 3 subcomponentes secundarios: sellos secundarios, resorte y elemento transmisor de torque. Ver figura 6. La parte rotativa está axialmente presionada contra la parte estacionaria.

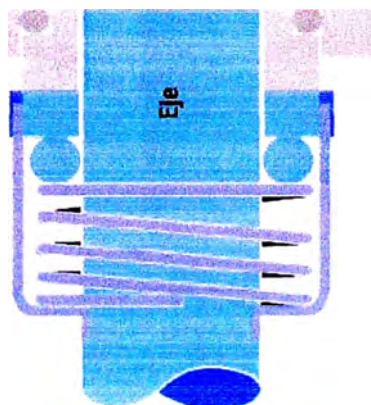


Figura 6: Subcomponentes básicos de un retén de bomba de agua.

### **2.4.1.6.1.1. Retenes mecánicos**

Como se describió anteriormente, una bomba con eje pasante no es totalmente hermética. El retén mecánico es básicamente una válvula que rodea al eje. Reduce las fugas entre la bomba y el entorno a un mínimo absoluto. La luz entre las partes estacionaria y rotativa del retén debe ser pequeña para reducir las fugas.

El diseño aplicado en estos retenes de bombas es obtenido montando un retén rotativo en el eje y un retén estático (asiento) en la carcasa de la bomba. Ver figura 6. El reducido espacio entre las superficies sellantes es llamado la luz del retén (“*seal gap*”). Ver figura 7. Este diseño permite el uso de una amplia selección de materiales para el retén rotativo y para el retén estacionario.

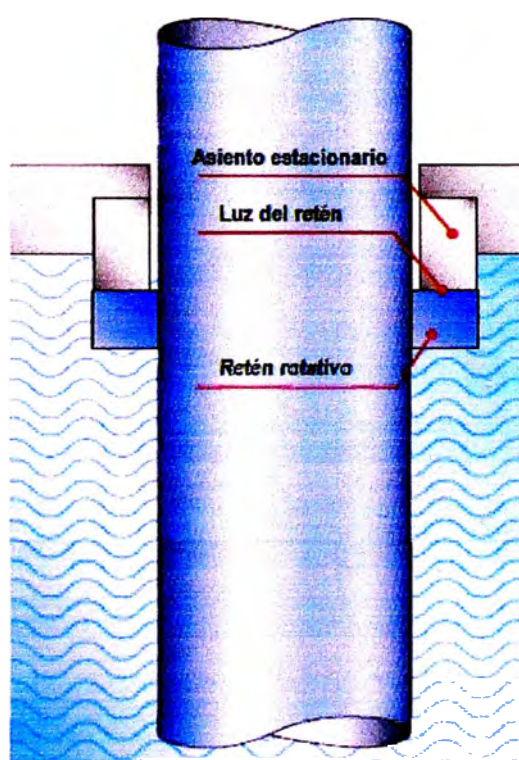


Figura 7. Retén mecánico del eje de la bomba, compuesto de un retén rotativo solidario con el eje y un asiento estacionario.

### 2.4.1.6.1.2. Sellos secundarios

Los sellos secundarios están compuestos de partes de goma tales como o-rings o fuelles, usados para evitar fuga entre el eje y el retén rotativo así como también las fugas entre el asiento estacionario y la carcasa de la bomba.

Para minimizar las fugas, el retén rotativo tiene que ser presionado contra el asiento. Por esa razón el o-ring del retén rotativo tiene que ser capaz de moverse axialmente en el eje. Para obtener flexibilidad axial, el sello secundario debe ser o un fuelle o un o-ring deslizante sobre el eje.

El sello secundario que sella entre el anillo rotativo y el eje, rotan solidariamente con el eje. El sello secundario que sella entre el asiento y la carcasa de la bomba es estático.

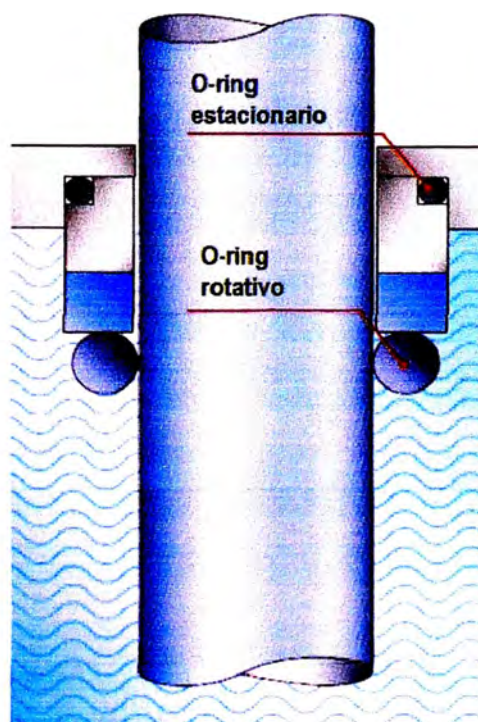


Figura 8: Los sellos secundarios confinan la fuga a la atmósfera



### 2.4.1.6.1.3 Resorte

El resorte rotativo presiona el retén rotativo contra el asiento y el o-ring rotativo, a lo largo del eje. Ver figura 9.

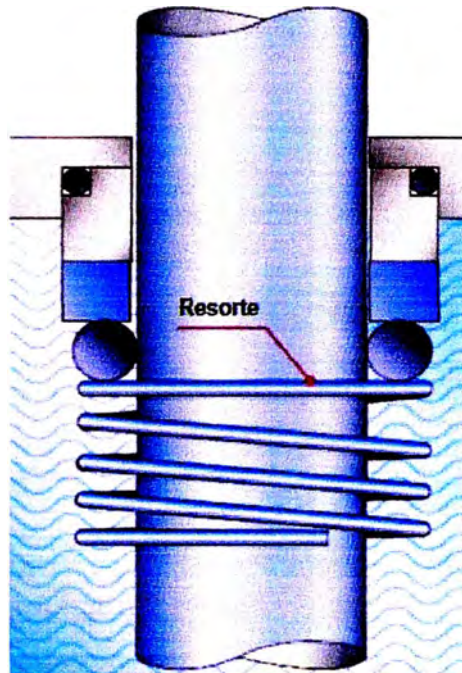


Figura 9: Un resorte rotativo presiona el retén rotativo contra el asiento estacionario.

### 2.4.1.6.1.4 Elemento de transmisión de torque

Un elemento transmisor de torque asegura que el retén rotativo gire solidariamente con el eje. Ver figura 10.

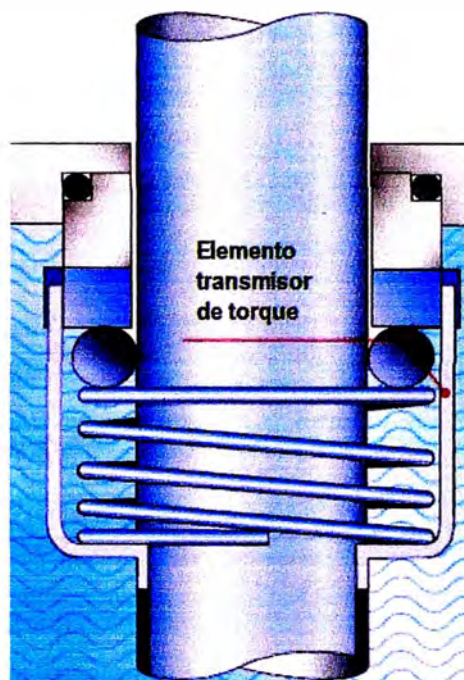


Fig 10. El elemento de transmisión de torque completa la lista de componentes del sello mecánico.

#### 2.4.1.6.2 Principio de operación del retén

A continuación se describe cómo es que la película lubricante es generada en la luz o separación de un retén mecánico de fuelles lubricado por refrigerante. Este diseño difiere ligeramente del retén de o-rings descrito anteriormente. En su forma más simple, el retén mecánico consiste en dos partes principales: La parte rotativa y la parte estacionaria.

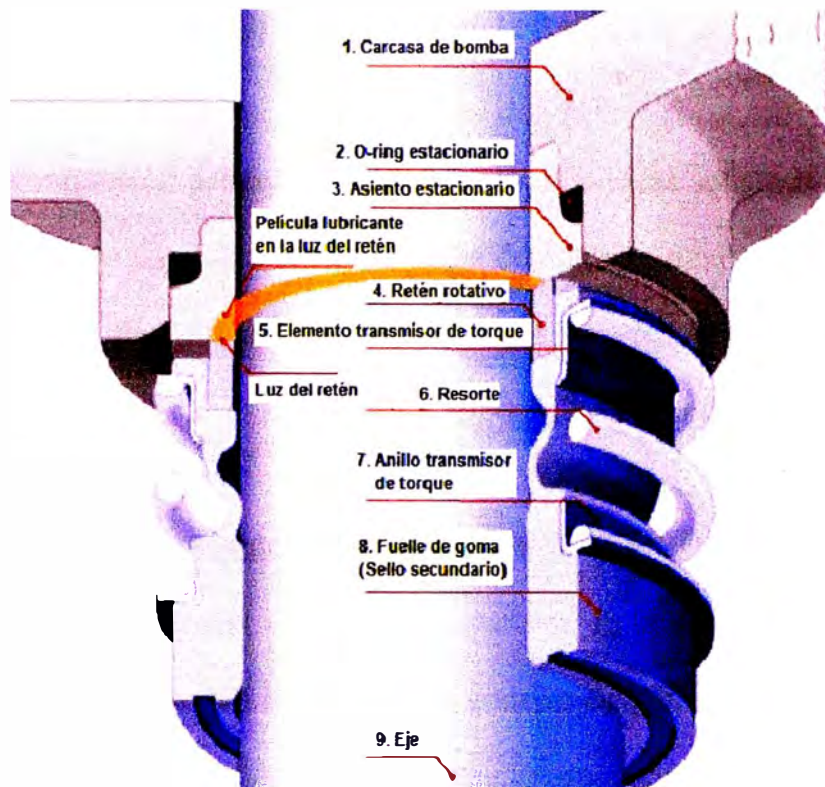


Figura 11. Retén mecánico de fuelles.

#### 2.4.1.6.2.1 Parte rotativa del retén mecánico

La parte rotativa del retén está fija al eje de la bomba y rota sumergida en el refrigerante durante la operación de la bomba.

La compresión del fuelle de goma (8) entre el eje (9) y uno de los dos anillos transmisores de torque (7) fija la parte rotativa al eje.

El resorte (6) transfiere el torque entre los anillos transmisores de torque (7 y 5). El retén rotativo (4) está montado conjuntamente con los fuelles de goma (8). El anillo transmisor de torque (5) comprime los fuelles de goma (8) contra el anillo retén rotativo (4). El fuelle de goma previene las fugas entre el eje (9) y el anillo retén rotativo (4) y asegura flexibilidad axial a pesar de la contaminación y los depósitos.

En un retén de fuelles de goma, como el mostrado en la figura 11, la flexibilidad axial es obtenida mediante la deformación de los fuelles. Pero, en un retén que utiliza

o-rings en vez de fuelles (como el mostrado en la figura 10), el o-ring se desliza a lo largo del eje.

La fuerza de compresión del resorte mantiene las dos caras sellantes juntas durante los estados de reposo y operación de la bomba debido a la flexibilidad de los fuelles o del o-ring. Esta flexibilidad además mantiene los retenes juntos, a pesar de movimientos axiales del eje, desgaste de las superficies y desviación del eje.

#### **2.4.1.6.2.2 Parte estacionaria del retén mecánico**

La parte estacionaria del retén está fija en la carcasa de la bomba (1). Vea la figura 11. Consiste de un asiento (3) y un retén secundario de goma, ambos estacionarios. El retén secundario previene fugas entre el asiento estacionario (3) y la carcasa de la bomba (1). Además previene que el asiento rote dentro de la carcasa de la bomba.

El medio bombeado a ser retenido (A) está generalmente en contacto con el borde externo del retén rotativo (B). Vea la figura 12. Cuando el eje empieza a rotar, el diferencial de presión entre el medio bombeado (A) en la carcasa de la bomba y la atmósfera (D) fuerza al medio a penetrar la luz del retén (desde B hasta C) entre las dos superficies planas rotativas. Se genera así la película lubricante.

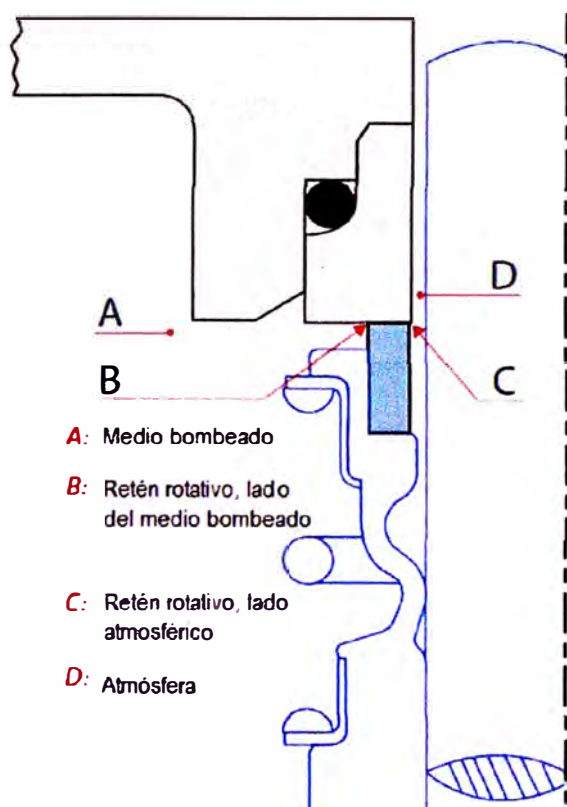


Figura 12: Ubicaciones de las posiciones en la luz del retén

La presión en la luz de retén va reduciéndose desde B hasta C, alcanzando la presión final en D. En caso de fugas por el retén, estas aparecerán en C y luego se irán a la atmósfera por D.

La presión en B es igual a la presión en A. La caída de presión en la luz del retén mientras la bomba está en reposo se muestra en la figura 13. La fuerza de cierre está solamente soportada por el contacto directo entre las caras del retén.

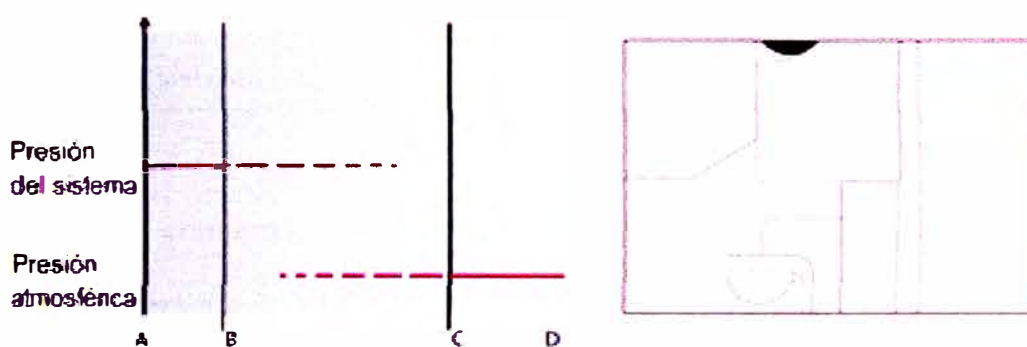


Figura 13: (IZQ) La presión en reposo es la del sistema o la atmosférica, dependiendo del lado del retén. (DER) En reposo, solamente existe contacto directo entre las caras de los retenes.

### 2.4.1.6.2.2 Fuerzas de apertura

Las fuerzas de apertura debido a la presión de la película lubricante se muestran con flechas rojas en la figuras 14 y 15.

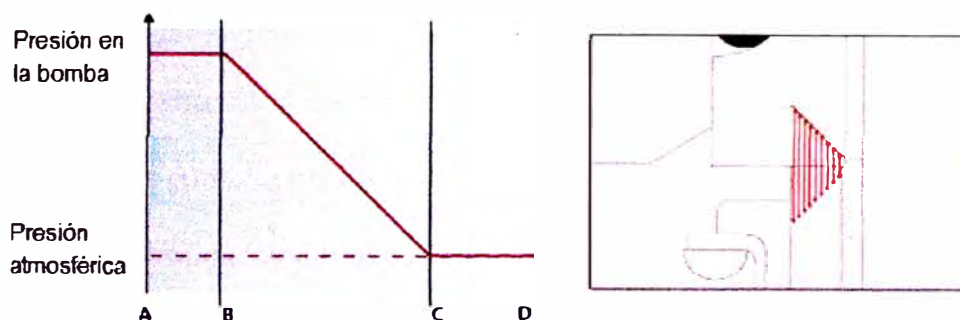


Figura 14: (IZQ) Distribución de presión hidrostática para retenes con caras paralelas. (DER) Fuerzas de apertura de la distribución de presión hidrostática

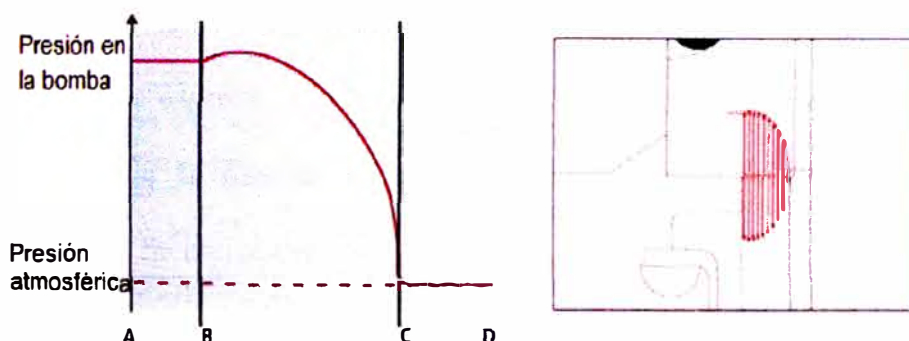


Figura 15: (IZQ) Distribución de presión en la separación del retén cuando se superponen las presiones hidrostáticas e hidrodinámicas. (DER) Fuerzas de apertura de la distribución combinada de presiones hidrostática e hidrodinámica.

Las partes del retén al interior de la bomba están sujetas a fuerzas que se deben a la presión dentro de la bomba. El componente axial de esta fuerza, en conjunto con la fuerza del resorte, crean la fuerza de cierre ( $F_c$ ) del retén.

Durante el reposo de la bomba, la presión en el borde exterior del anillo (B) es igual a la presión del sistema (A). Ver figura 13.

Cuando el eje comienza a girar, los anillos del retén se separarán y el medio bombeado entrará a la luz del retén. La presión decrece linealmente desde la presión de la bomba (B) hasta la presión atmosférica (C). Vea la figura 14

Nota: En este informe, la presión de la bomba significa presión en la cámara del retén. La presión linealmente decreciente es conocida como la presión hidrostática en la luz del retén. La fuerza de apertura es mostrada con flechas rojas en la figura 15.

Cuando la bomba gira, vea la figura 14, hay un incremento de la presión en la película lubricante. Esto es similar a un carro patinando sobre una pista mojada. Esta presión es conocida como la presión hidrodinámica en la luz o separación del retén.

La presión hidrostática combinada con la presión hidrodinámica produce la distribución de presión en la luz del retén. La fuerza de apertura se muestra con flechas rojas en la figura 14. Un régimen de lubricación total (es decir, la capa de fluido es de mayor espesor que la altura de las irregularidades de las superficies) puede alcanzarse si la presión en la luz del retén es suficientemente alta para balancear la fuerza de cierre del retén.

#### **2.4.1.6.2.3 Fuerzas de cierre**

Las partes del retén al interior de la bomba están sujetas a una fuerza axial generada por la presión en el medio bombeado. En conjunto con la fuerza del resorte, la fuerza axial crea la fuerza de cierre en las caras del retén.

Si el diferencial de presión entre el medio bombeado y la atmósfera está por encima de 20 bar, las fuerzas de cierre se vuelven tan fuertes que previene la formación de una adecuada película de lubricación hidrodinámica<sup>8</sup>. Las caras del retén comienzan a desgastarse. El desgaste puede ser evitado al reducir el área donde la presión hidráulica afecta la fuerza axial en el eje del retén.

---

<sup>8</sup>“Mechanical shaft seals for pumps”, GrundfosInc, 2009.

### 2.1.1.6.3 Fugas

La película lubricante formada en la luz del retén durante la operación de la bomba resulta en el escape de algo del medio bombeado hacia el lado atmosférico. Si el retén mecánico trabaja bien y no hay presencia de líquido en el exterior, la película lubricante se ha evaporado debido al calor y la presión decrece a lo largo de la luz del retén. Por lo tanto, nada de refrigerante resume hacia la atmósfera. Cabe recordar aquí que la evaporación puede ocurrir a temperaturas inferiores a 100°C.

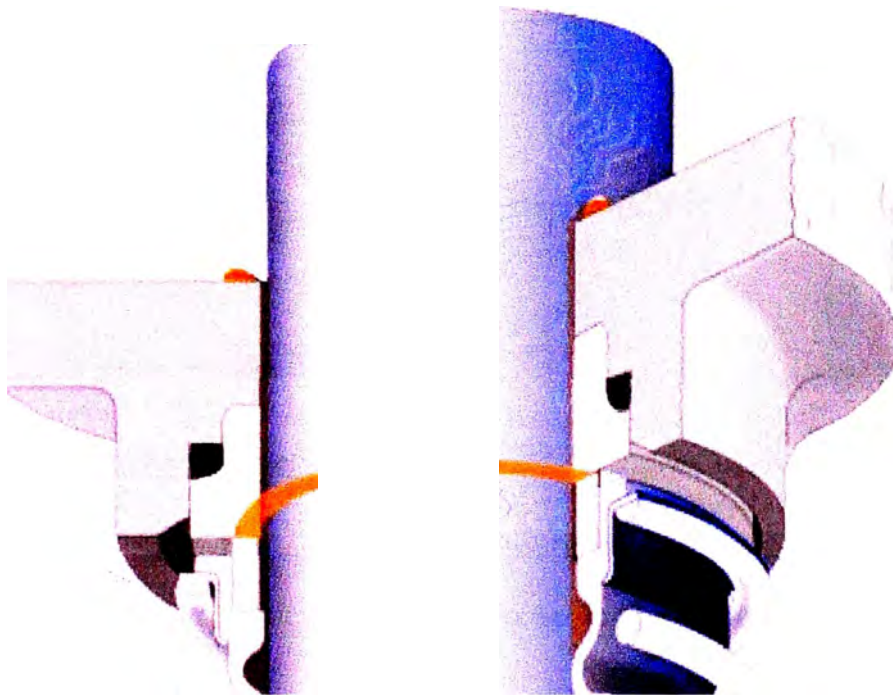


Figura 16: Retén con fuga excesiva

#### 2.1.6.3.1 Caras de sellado no paralelas

En la práctica, las caras de sellado se distorsionan debido a gradientes de presión y temperatura. La deformación más típica es cuando la cara del retén adquiere forma cónica. Para caras de sellado no paralelas, la presión hidrostática ya no decrece linealmente desde el lado de la bomba hacia el lado atmosférico.



### 2.1.6.3.1.1 Luz de sellado convergente

Cuando la luz del retén se abre hacia el medio bombeado, como se muestra en la figura 17, la presión hidrostática en el retén se incrementa. Cuando así ocurre, se dice que existe una luz convergente. Es el caso que más se presenta en la práctica, y es el caso que se presenta en el retén de las bombas de este informe.

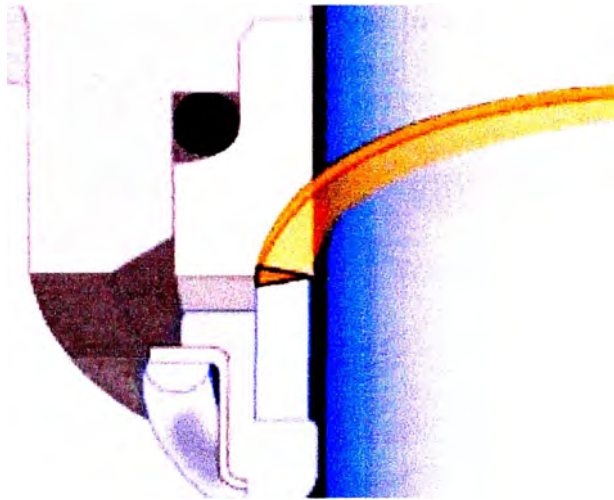


Figura 17: Luz de sellado convergente

### 2.1.6.3.1.2 Luz de sellado divergente

Cuando la luz del retén se abre hacia el lado atmosférico, tal y como se muestra en la figura 18, la presión hidrostática decrece. Esto se conoce como una luz divergente del retén.

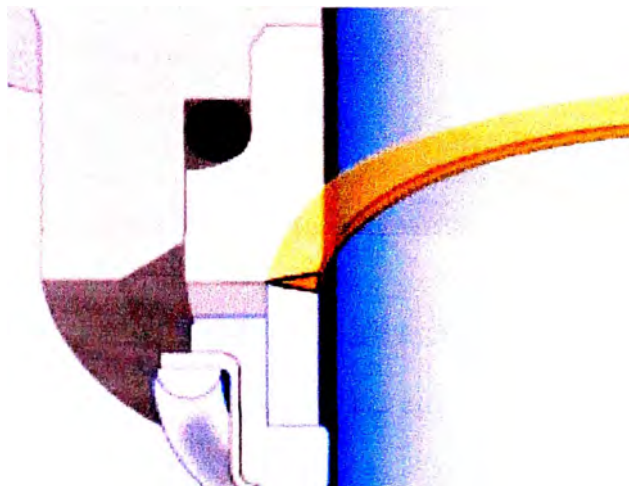


Figura 18: Luz de sellado divergente

### **2.1.6.3.2 Depósitos y surcos por desgaste**

Cuando la película lubricante en la luz del retén se evapora, los sólidos disueltos se van depositando en las caras del retén.

Si el espesor de los depósitos excede el espesor necesario de la película lubricante, comienza una fuga por el retén. En caso de depósitos duros, se podrían desarrollar surcos por desgaste en uno de los retenes, ver la figura 19. En caso de depósitos suaves y adhesivos, una acumulación puede causar una separación de las caras del retén. Ver la figura 20.

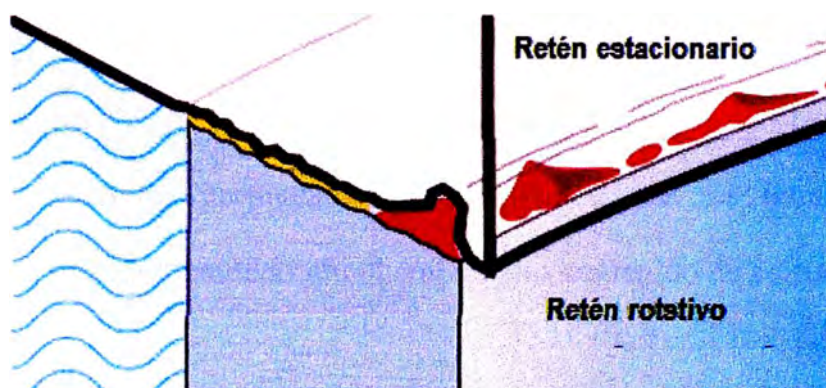


Figura 19: Desarrollo de surcos por desgaste debido a depósitos duros.

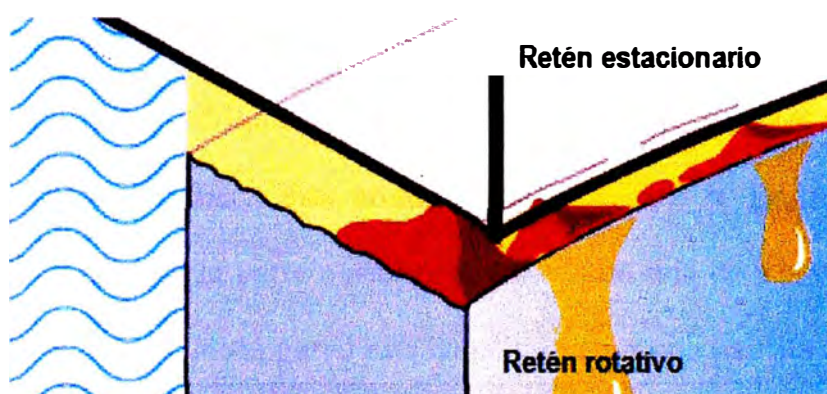


Figura 20: Acumulación de depósitos entre las caras rotativa y estacionaria del retén.

### **2.1.6.3.3 Rendimiento del retén en mezclas agua-glicol.**

El refrigerante automotriz está compuesto de agua tratada, glicol y aditivos. Esta mezcla puede causar problemas de fugas en los retenes. Los problemas usualmente

se suelen presentar por aditivos tales como inhibidores, antioxidantes, alcalinos, etc. Algunos aditivos tales como silicatos y fosfatos pueden cristalizarse como partículas duras en la separación o luz del retén. Estos cristalitas<sup>9</sup> duros causan desgaste en retenes con caras de grafito y carburo de silicio (SiC/C), como en el retén utilizado en estas bombas.

Los ligantes<sup>10</sup> orgánicos de películas, también llamados inhibidores de corrosión, se adhieren a todas las superficies en contacto con el líquido, incluyendo una mayor parte de la cara del retén. Muchos inhibidores pueden desarrollar capas adherentes en la separación o luz del retén, resultando en fuga. Los retenes con caras WC/WC o SiC/SiC tienen mejores propiedades autolimpiantes que los retenes con caras carbono/SiC en agua conteniendo glicol con un alto contenido de aditivos.

### 2.1.2 **El radiador**

El radiador es el elemento donde se produce el enfriamiento o evacuación del calor acumulado en el líquido refrigerante a su paso por el motor. Se coloca normalmente en la parte delantera del bus y está protegido por una parrilla. En nuestro caso, el radiador está montado en la parte posterior del bus, con una de sus caras orientada hacia la pared del motor. Dicha pared está constituida por una parrilla que le sirve de protección.

---

<sup>9</sup> Cristalito o cristalita: Del griego “krystallos”, significa forma mineral diminuta, usualmente brillante, que marca el inicio de la cristalización.

<sup>10</sup>Ligante: Producto que pega o aglutina los aditivos del refrigerante, formando con ellos una película o film de protección sobre la superficie metálica a las que se adhiere.

Los factores que influyen para disipar el calor, además de las diferencias de temperatura entre el líquido y el aire del ambiente son: la superficie frontal del radiador, la superficie de contacto del líquido con la superficie radiante y la permeabilidad del radiador al líquido y al aire. De ahí que el radiador tenga una gran importancia y puede ser de tres tipos: tubular, de panal y de láminas de agua.

El metal más adecuado para la fabricación de los radiadores es el cobre por sus facilidades de transmitir el calor, pero por razones económicas se emplea el latón, y recientemente el aluminio, que resulta más resistente y ligero.

La unión del radiador al motor se hace por medio de mangueras que permiten conferir elasticidad al conjunto. Las mangueras se sujetan con abrazaderas metálicas a los tubos metálicos que salen de ambos elementos (motor y radiador). En muchas ocasiones la unión al radiador se hace en esquinas opuestas de las partes altas y bajas.

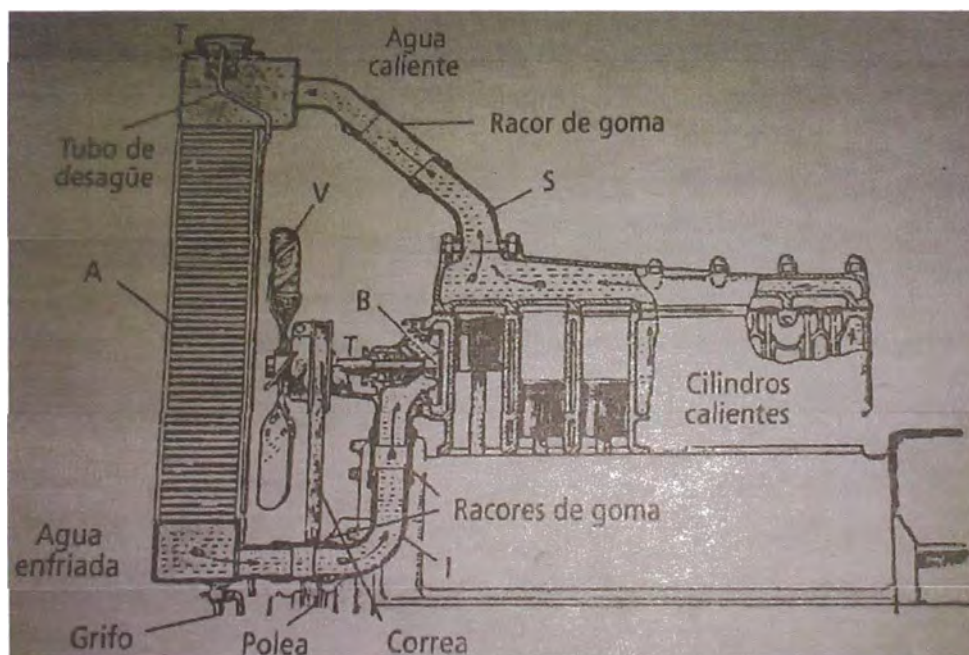


Figura21: Radiador acoplado a un motor de combustión

En nuestro caso utilizamos radiadores tubulares de cobre, de empleo muy generalizado. Ver figura 21. El líquido que llega desde las camisas de los cilindros G y de la culata C por la manguera superior S, desciende por unos tubos largos y finos, rodeados por unas aletas. El calor del líquido se esparce con rapidez por el metal de los tubos y aletas, de donde es cedido al aire que circula entre unos y otros.

Los tubos, colocados verticalmente, pueden ser redondos o planos y de sección alargada T, y las aletas A, que los enlazan y enfrían, son planas y perpendiculares a los tubos (figura 22) en radiadores para motores de fácil refrigeración, o bien onduladas e intercaladas en forma de acordeón entre los tubos. (“corrugadas”, figura 23) cuando se necesita mayor superficie metálica para disipar más calor en el aire. Como se ve en este último detalle, las aletas suelen llevar escotaduras que activan la ventilación.

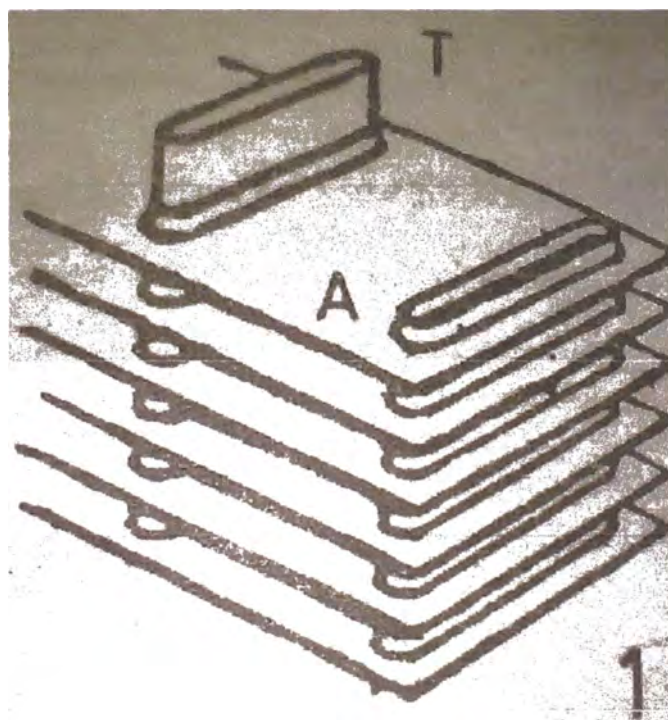


Figura 22: Tubos de radiador con aletas planas

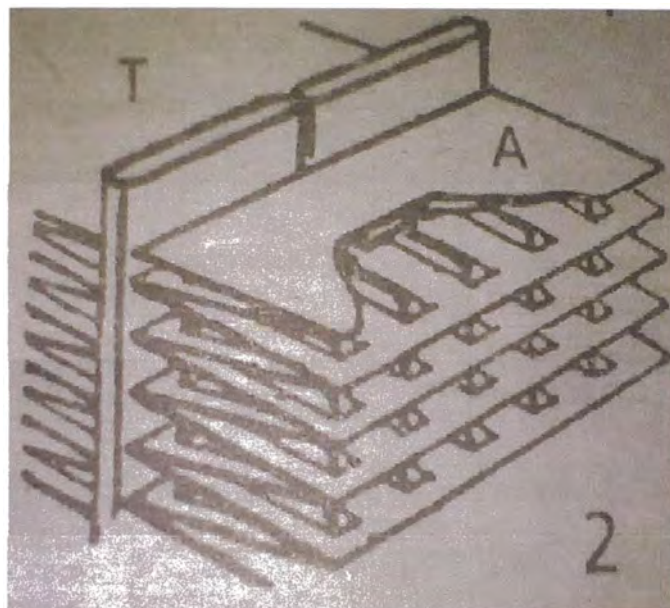


Figura 23: Tubos de radiador con aletas corrugadas.

### 2.1.2 El ventilador

El ventilador asegura el paso de aire a través del radiador incluso cuando el vehículo está parado o circula a reducida velocidad, es decir cuando no existe corriente de aire producida por el movimiento del vehículo o cuando el radiador no recibe más que una mínima dosis de aire.

El ventilador es una hélice de 5 a 9 aspas y puede ser de dos tipos: de activación electromagnética o electroventilador. En ambos casos funciona sólo cuando la temperatura del líquido en el radiador alcanza determinados valores previamente programados. En nuestro caso de estudio, el ventilador tiene 9 aspas distribuidas uniformemente. La activación es electromagnética, configurada para accionarse cuando el refrigerante supera los 68°C.

La temperatura del refrigerante se mide mediante un termocontacto montado en la parte inferior del radiador. Con la activación electromagnética, el termocontacto permite que un electroimán accione la polea de arrastre solidaria con el buje del ventilador. En la figura 24 se representa el uso del eje del ventilador para mover la bomba de agua, que aspira refrigerante por A y es enviada, tras recorrer las camisas del bloque, por el tubo S a la parte alta del radiador. Una distribución frecuente es la de la figura 25, en la que la faja, manda por la polea del cigüeñal, mueve el eje del ventilador y la bomba de agua y pasa por una tercera polea que mueve el alternador.



Figura 24: Ventilador impulsado por fajas. Vista lateral



Figura 25 Ventilador impulsado por fajas. Vista frontal

### 2.1.3 El termostato.

La refrigeración está calculada para dar un buen rendimiento en tiempo caluroso, el más favorable, de manera que la temperatura del motor no exceda los 100°C. Pero en tiempo frío, sobre todo al poner el motor en marcha, conviene que se caliente rápidamente para dar fluidez al aceite, facilitar el engrase, evitar desgastes del motor y proporcionar calor al sistema de climatización. Todo ello se consigue, actuando sobre la circulación del líquido por medio del termostato.

Un termostato (ver figura 26) consiste en una válvula comandada por un elemento sensible al calor que, cuando está frío y encogido, presiona la válvula contra su asiento y cierra el paso del líquido al radiador; en cambio, cuando se calienta abre la válvula y permite el paso del líquido hacia el radiador.



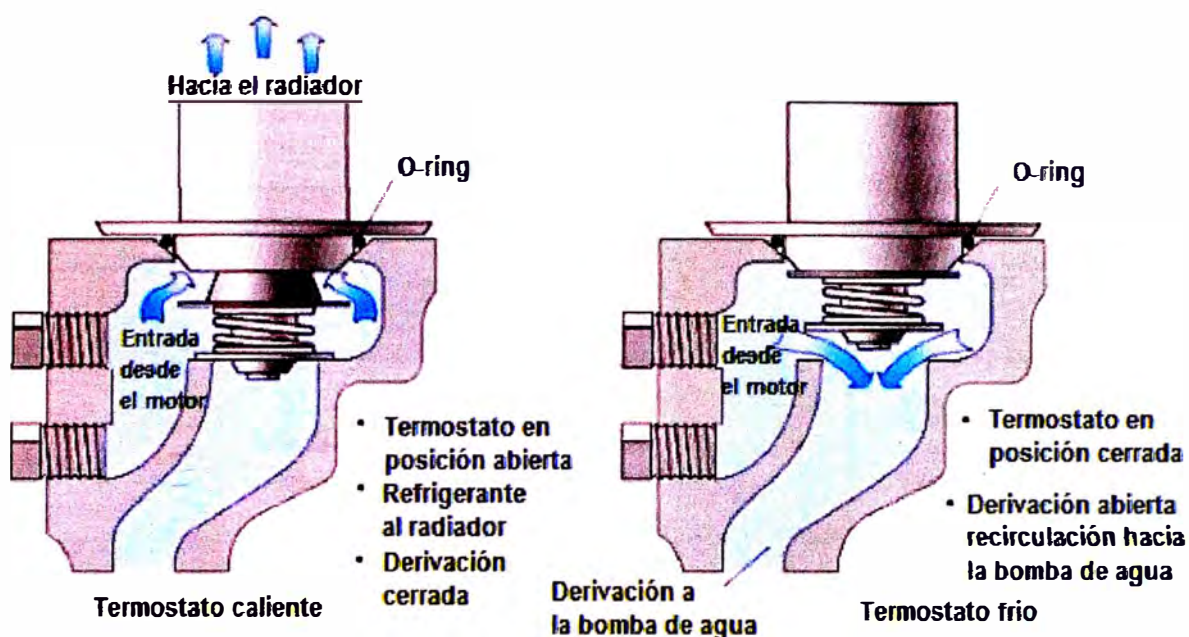


Figura 26: Corte sección de un termostato automotriz

2.1.4. Finalmente, el último componente del sistema de refrigeración es el **filtro**, que elimina las impurezas del refrigerante por medio de una barrera física o un proceso químico.

## 2.5 Descripción del refrigerante para motores de combustión interna.

El refrigerante es el líquido que circula por el interior del sistema de enfriamiento de un motor automotriz. Está compuesto de 3 ingredientes básicos:

- Agua tratada
- Anticongelante
- Aditivos del refrigerante

## ¿ De qué se compone el refrigerante ?



Figura 27. Componentes básicos del refrigerante

En el caso analizado en este informe, el anticongelante totalmente formulado se mezcla con agua de buena calidad en una proporción de 50/50 en volumen (el rango de trabajo va desde el 40 al 60 por ciento en volumen). Para el fabricante, un “agua de buena calidad”<sup>11</sup> significa que tenga las siguientes características:

- Dureza total menor a 170 partes por millón (ppm) o 170mg/litro
- Cloruros menores a 40 ppm
- Sulfatos menores a 100 ppm
- Alcalinidad (pH) de 5.5 a 9.0
- Sólidos disueltos totales menores que 340 ppm

<sup>11</sup> “Requerimientos de mantenimiento de aditivos suplementarios para sistemas de refrigeración” Cummins Inc.

Una mezcla al 50/50 de anticongelante y agua da un punto de congelación de  $-36^{\circ}\text{C}$  ( $-31^{\circ}\text{F}$ ) y un punto de ebullición de  $108^{\circ}\text{C}$  ( $226^{\circ}\text{F}$ ) a 1 atmósfera de presión, que es adecuado para climas como el del Lima Metropolitana. El fabricante del motor comercializa su propia marca de refrigerante en la proporción de 50/50 y debido al amplio margen de temperaturas de trabajo, es indicado para funcionar en motores que trabajan en Lima Metropolitana como los motores que analizamos en este informe. El punto de congelación real más bajo del etilenglicol ocurre cuando está presente al 68 por ciento en volumen. El hecho de usar concentraciones más altas de anticongelante elevará el punto de congelación de la solución e incrementará la posibilidad de formación de gel de sílice. La presencia de este gel obstruiría los canales de refrigeración, además de alterar la transferencia de calor.

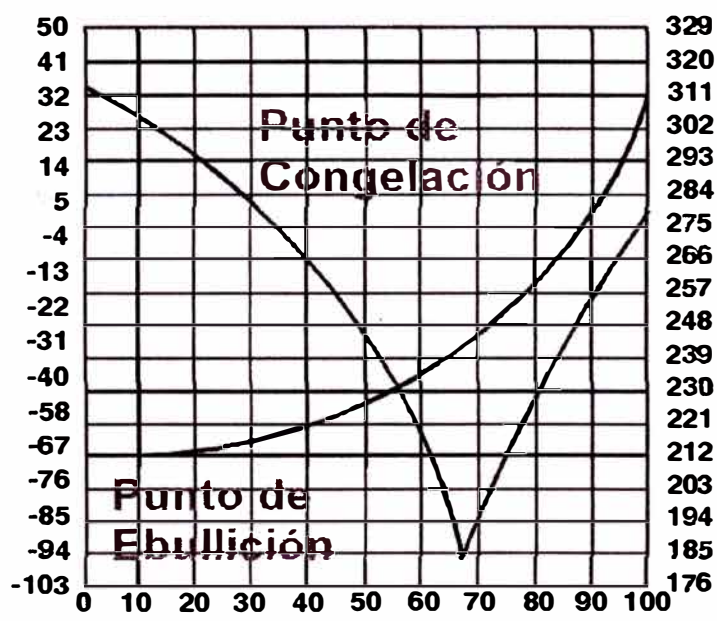


Figura 28. Comportamiento del etilenglicol a distintas temperaturas. Las ordenadas izquierda y derecha muestran temperaturas en grados Fahrenheit. Las abscisas muestran concentración de etilenglicol en la mezcla acuosa.

En los motores estudiados en este informe se utiliza refrigerante original Fleetguard, recomendado por el fabricante. Este refrigerante contiene *aditivos suplementarios del*

*refrigerante* o *SCA* por sus siglas en inglés<sup>12</sup>. Estos SCA son el ingrediente clave de la mezcla refrigerante. Cada fabricante recomienda su propio SCA en función de usar camisas húmedas o secas, así como también del flujo de refrigerante que circula por el motor. La propia marca Fleetguard comercializa sus SCA, llamados comercialmente *DCA4*, que son las siglas de “*Diesel CoolantAditives 4*” o “*Aditivos del refrigerante para Diesel*”. El número 4 indica que es especial para las exigencias térmicas de un motor de 4 tiempos. A pesar de haber sido diseñado para motores diesel, este refrigerante también puede ser aplicado en motores a gas natural, según la recomendación del fabricante.

El refrigerante utilizado en los motores estudiados en este informe se obtiene como una mezcla de 50% de anticongelante y 50% de agua tratada, precargada con 2.2 unidades de *DCA4* (equivalente a 60 mililitros por litro de mezcla). El límite mínimo es de 1.5 unidades por galón (0.4 unidades de *DCA4* por litro de refrigerante). El límite máximo es de 0.8 unidades de *DCA4* por litro de refrigerante. La medición de estos límites se puede hacer mediante unas tiras de ensayo comercializadas por el fabricante del refrigerante. Estas tiras cambian de color y se comparan contra una tabla patrón para hallar la concentración real de *DCA4*.

A medida que el motor funciona dentro de sus parámetros normales, los niveles de agua y anticongelante se mantienen. Pero el nivel de aditivos (en nuestro caso, *DCA4*) disminuye. Estos aditivos se “gastan” a medida que circulan por el motor y es necesario reponerlos para mantener un nivel aceptable de protección. En ese caso,

---

<sup>12</sup> SCA son las siglas de *SupplementaryCoolantAditives*

en cada cambio de aceite (500 horas de funcionamiento del motor) se procede a medir la concentración de aditivos en el refrigerante mediante las tiras de ensayo y se añade el volumen necesario de DCA4 para mantener la concentración del mismo dentro de 0.4 y 0.8 unidades por litro de refrigerante. Estos aditivos pueden ser añadidos al refrigerante de dos formas. La primera es realizando la mezcla con el refrigerante fuera del motor para luego proceder a rellenar el sistema. La segunda forma es colocar un filtro de agua que contenga también pastillas de DCA4, las cuales irán disolviéndose a medida que circula el refrigerante. En los motores estudiados en este informe se utiliza esta segunda forma de añadir aditivos al sistema.

El refrigerante utilizado por el operador de estos motores ha sido formulado para minimizar los *sólidos totales disueltos* o TDS<sup>13</sup> por sus siglas en inglés. Al haber menos TDS en la mezcla, entonces se reduce la probabilidad de desgaste por abrasión en el sistema de refrigeración<sup>14</sup>. El fabricante logra esto añadiendo aditivos líquidos al refrigerante para elevar el nivel de SCA (aditivos del refrigerante) hasta un máximo de 0.8 unidades (80 mililitros) por litro. El anticongelante del refrigerante tiene los suficientes agentes neutralizadores de ácidos y protectores de aluminio. El refrigerante se vuelve ácido debido a la degradación del anticongelante o a gases de combustión que ingresan al sistema de refrigeración. Mantener bajos los niveles de TDS ayudará a alargar la vida útil del retén de la bomba.

---

<sup>13</sup> TDS son las siglas en inglés de *Total Dissolved Solids*.

<sup>14</sup> "Preguntas frecuentes acerca del refrigerante de vida extendida"(www.cumminsfiltration.com)

## 2.6 Descripción del circuito de refrigeración

Para el caso del motor CumminsC 8.3 GNV, la figura 29 nos muestra el circuito de refrigeración.

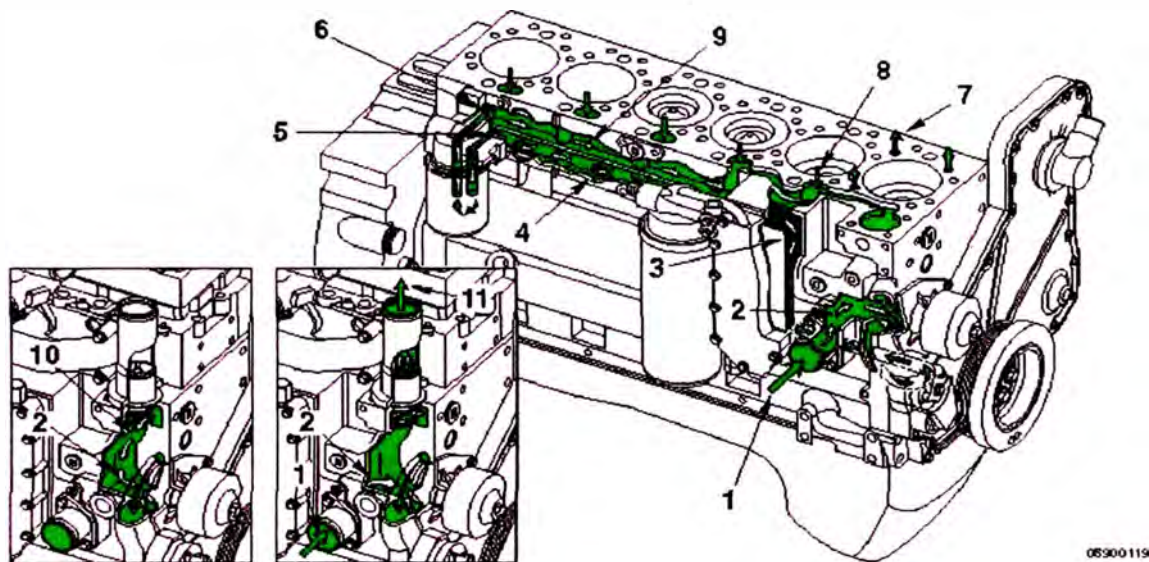


Figura 29: Descripción del circuito de refrigeración Cummins GNV.

1. Entrada de refrigerante desde el radiador.
2. Succión de la bomba de agua.
3. Flujo de lubricante a través del enfriador de aceite del motor.
4. Colector inferior de flujo de refrigerante. (hacia los cilindros)
5. Entrada del filtro de refrigerante.
6. Salida del filtro de refrigerante.
7. Suministro de refrigerante hacia la culata del motor.
8. Suministro de refrigerante desde la culata del motor.
9. Colector superior de flujo de refrigerante.
10. Derivación del termostato (cuando el refrigerante está por debajo de 82°C).
11. Retorno del refrigerante hacia el radiador. (cuando el refrigerante excede los 82°C)

### **CAPÍTULO 3**

#### **DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL PROBLEMA**

En este informe analizaremos el funcionamiento de una bomba de agua que es parte del sistema de refrigeración de un motor a GNV marca Cummins. Este motor impulsa un bus de transporte público por lo que opera hasta 16 horas diarias, 7 días a la semana 360 días al año. Como es evidente, una falla no diagnosticada o no solucionada a tiempo puede traer consecuencias catastróficas no solo a nivel mecánico sino también a nivel económico.

Las bombas analizadas aquí generalmente fallaron debido a una fuga de refrigerante por el retén. En caso este tipo de falla pase desatendida por mucho tiempo, la misma conducirá a una falla en el rodamiento del eje de la bomba.

Cuando aparece una fuga de refrigerante hacia el exterior (en este modelo de bomba Cummins solamente es posible la fuga hacia el exterior, en otros modelos también es posible la fuga hacia el interior), el sistema de refrigeración perderá refrigerante. Si la fuga no es corregida a tiempo, la pérdida de refrigerante podría conducir a un sobrecalentamiento del motor. El conductor no podría notar la falla hasta que la luz de advertencia se enciende en el tablero de instrumentos del bus. Si esto ocurre, se

debe detener inmediatamente el motor. En este estado de sobrecalentamiento, el motor puede sufrir daños severos e irreversibles si continúa funcionando.

Si el motor se ha sobrecalentado, el sistema de refrigeración debe ser examinado por completo (radiador, mangueras, bomba de agua y monoblock) en busca de fugas de refrigerante. Por otro lado, si se aprecia una fuga abundante de refrigerante por el eje o el drenaje de la bomba entonces la bomba debe ser reemplazada. El usar sellantes adhesivos (silicona) para taponar la fuga no podrán solucionar este tipo de falla, por el contrario, probablemente empeorarían la situación. Como ya se explicó, el agujero de drenaje de la bomba permite la salida del exceso de refrigerante contenido en el alojamiento del sello de la misma.

En este informe se analiza el problema utilizando el “Método de los 8 pasos”, los cuales son:

- Definir el problema claramente.
- Organizar la acumulación de datos. (Chequear historial de reparación y registros de reparación).
- Observar y registrar la información.
- Analizar la información obtenida.
- Determine la causa básica.
- Tomar decisiones de mejora.
- Comunicar los resultados.
- Hacer las reparaciones siguiendo las especificaciones del fabricante.



El método de análisis propuesto nos indica comenzar por la definición del problema.

### **3.1 PASO 1. Definir el problema.**

El punto de partida del problema surge cuando alguien cree ver, escuchar, sentir u oler que algo anda mal. Cualquier condición anormal semejante, sea real o percibida, es un indicador de problema. Algunos ejemplos de problemas son: humo negro en el escape, pérdida de potencia, vibración, calentamiento durante la ocurrencia de la falla o fugas.

En este caso el problema percibido es que la vida útil de las bombas está por debajo de lo especificado por el fabricante. El indicador de problema es la fuga excesiva de refrigerante por el drenaje de la bomba.

El diseño de la bomba de agua Cummins requiere de una película de refrigerante para la lubricación y refrigeración del retén, como se explicó en el apartado 2.4.1.6. Por tal motivo, es normal observar una acumulación de sólidos químicos o una pequeña fuga de refrigerante por el agujero de drenaje de la bomba. Lo descrito anteriormente no es una justificación para reemplazar la bomba. Si la fuga de refrigerante es constante y abundante, entonces hay que reemplazar la bomba<sup>15</sup>. El agujero de drenaje de la bomba apunta hacia abajo, para que el exceso de refrigerante sea evacuado por gravedad.

---

<sup>15</sup> Manual de operación y mantenimiento de motores Cummins.

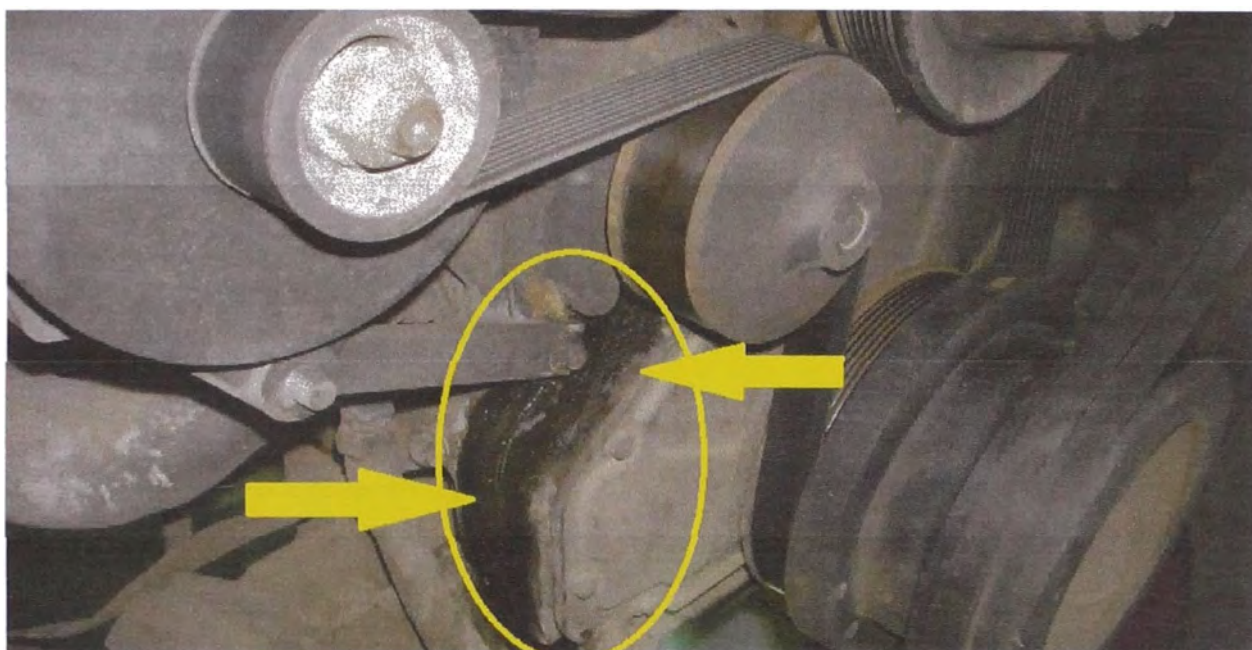


Figura 30: El indicador de problema es la fuga excesiva de refrigerante por el drenaje de la bomba, como en esta figura.

Este problema está presente en el 22% de los buses de la flota, lo cual hace evidente que se trata de un problema mayor.

La información sobre estos motores revela que los mismos fueron comprados nuevos por el ensamblador del bus al fabricante “Cummins Inc.” y vendidos como parte del bus al cliente final. Tienen una edad promedio de 10 meses al momento del problema.

Estos motores impulsan buses que circulan por pistas pavimentadas en Lima Metropolitana.

El siguiente paso en la definición del problema es obtener información acerca del kilometraje u horas de servicio del motor además de cualquier problema reciente. El odómetro ubicado en el tablero del bus registra los kilómetros recorridos.

Los detalles se muestran en la tabla 1. El conductor fue capacitado en la operación de este modelo de bus, por lo que eso permitió que pudiera reconocer la falla y dar aviso para una rápida intervención del técnico mecánico. Por otro lado, para un motor funcionando en condiciones normales, el fabricante recomienda revisar la bomba cada 1000 horas de funcionamiento del motor.

La compañía de transportes que opera el bus (de aquí en adelante, “el operador”) ha calculado en campo que la velocidad promedio para estos buses es de 24 Kilómetros por hora. Puesto que es más conveniente llevar las 1000 horas de funcionamiento del motor a Kilómetros, hacemos la conversión:

$$\text{Kilometraje de servicio} = \text{velocidad promedio} \times \text{horas de servicio}$$

Es decir:

$$\text{Kilometraje de servicio} = (24 \text{ kmph}) \times (1000 \text{ horas}) = 24000 \text{ Kilómetros.}$$

Tabla 1. Plan básico de mantenimiento para los motores analizados en este informe.

### **Revisión de Mantenimiento**

Efectúe el mantenimiento en el intervalo que ocurra primero.

En cada intervalo de mantenimiento programado, realice todas las revisiones previas de mantenimiento que estén vencidas para el mantenimiento programado.

#### **Procedimientos de Mantenimiento a Intervalo Diario <sup>(1)</sup>**

- Tubería de Admisión de Aire - Revisar
- Tubo del Respiradero del Cáster - Revisar
- Nivel del Refrigerante - Revisar
- Ventilador de Enfriamiento - Revisar
- Filtro de Combustible (Tipo Atornillable) - Drenar <sup>2</sup>
- Nivel del Aceite Lubricante - Revisar
- Manguera del Radiador - Revisar
- Prueba de Respuesta del Acelerador - Probar

**Procedimientos de Mantenimiento a los 12,000 kilómetros [7500 Millas], 500 horas o 6 meses <sup>(1), (3)</sup>**

- Restricción del Filtro de Aire - Revisar
- Carcasa del Catalizador - Revisar
- Enfriador Aire-Aire - Revisar
- Tubería Aire - Aire - Revisar
- Filtro de Refrigerante - Cambiar<sup>(5)</sup>
- Aceite Lubricante y Filtros - Cambiar<sup>(4)</sup>
- Concentración de Aditivo Complementario de Refrigerante (SCA) y de Anticongelante - Revisar<sup>(5)</sup>

**Procedimientos de mantenimiento a los 24,000 kilómetros [15,000 millas], 1000 horas o 1 año <sup>(1) (3)</sup>**

- Fajas de Mando - Revisar
- Tensor de la Faja del Ventilador de Enfriamiento - Revisar
- Cubo de Ventilador Impulsado por Banda - Revisar
- Filtro de Combustible (Tipo Atornillable) - Cambiar
- Ajuste de Punterías - Ajustar<sup>6</sup>
- Catalizador de Oxidación - Revisar
- Bomba de Agua – Revisar←

**Procedimientos de Mantenimiento a los 36,000 kilómetros [22,500 Millas], 1500 horas o 18 meses <sup>(1), (3)</sup>**

- Bobina de Ignición (Sin Blindaje) - Revisar
- Bujías (Sin Blindadaje) - Cambiar<sup>(7)</sup>

**Procedimientos de Mantenimiento a los 48,000 kilómetros [30,000 millas], 2000 horas o 2 años <sup>(1) (3)</sup>**

- Acumulación de Carbón en el Compresor de Aire - Revisar
- Sistema de Enfriamiento - Lavar
- Tren de Válvulas e Inyectores - Ajustar
- Turbocargador - Revisar
- Amortiguador de Vibración, de Hule - Revisar
- Amortiguador de Vibración Viscoso – Revisar

1. Siga los procedimientos de mantenimiento recomendados por el fabricante para el motor de arranque, alternador, generador, baterías, componentes eléctricos, compresor de aire, compresor de refrigerante, embrague del ventilador y filtro de combustible del OEM.
2. El periodo de intervalo para drenar el filtro de combustible depende de la estación de combustible y varía para cada localidad. El intervalo de drenado **debe** ajustarse al tiempo requerido para acumular no más de una onza de aceite en el filtro de combustible.
3. En cada intervalo de mantenimiento programado, efectúe todas las revisiones previas además de las especificadas.
4. Consulte la Tabla 1, Intervalos de Drenado de Aceite para intervalos de cambio de aceite y filtro basados en la velocidad promedio.
5. **No** cambie el filtro de refrigerante si el SCA está por arriba de 3 unidades.
6. Ajuste de la tolerancia inicial del juego de la válvula, los ajustes subsecuentes

deben efectuarse en cada ocho cambios de aceite del motor para motores automotrices o a un intervalo de 48,000 km [30,000 millas], 2000 horas o 2 años, lo que ocurra primero.

7. Use **sólo** bujías autorizadas por Cummins Inc. para el mantenimiento programado o las reparaciones. El uso de partes no autorizadas puede afectar el desempeño y el sistema de control de emisiones. El intervalo recomendado de 36,000 km [22,500 millas] se basa en una velocidad vehicular promedio de 24 kph [15 mph] y **debe** disminuirse en consecuencia para aplicaciones de velocidad más lenta (es decir; 1500 hr multiplicadas por los kph [mph] promedio = intervalo de mantenimiento por distancia).

**Tabla 1: Intervalos de Drenado de Aceite**

Velocidad Vehicular Promedio	Kilómetros	Millas	Horas	Meses
Por debajo de 32 kph [20 mph]	12,000	7,500	500	6
32 kph [20 mph] y Más Alta	12,000	7,500	250	6

Mediante la revisión de los informes de taller, se obtiene información sobre las condiciones de trabajo que producen el indicador del problema. Con la información preliminar, se puede decidir si se requiere realizar el análisis de fallas o si un servicio de pruebas y ajustes resolverá el problema. El análisis de fallas es necesario cuando las piezas se rompen, deforman o desgastan en forma excesiva.

El procedimiento de los 8 pasos indica que si aparentemente no existe nada roto, deformado o desgastado en exceso entonces un servicio de diagnóstico, un ajuste o un entrenamiento al usuario final pueden satisfacer la reclamación. De lo contrario, es indispensable una inspección visual detallada del componente para localizar el origen del problema.

En este caso decidimos aplicar el análisis de fallas puesto que son muchas las bombas que han fallado. Se debe escribir una definición del problema. Esta definición debe incluir el nombre de la pieza, una descripción del daño producido y el reclamo del operador del bus. Existen documentos que registran las atenciones mecánicas efectuadas por el personal técnico. Son conocidas como “Hojas de taller”. En ellas se describe la queja del cliente, las acciones tomadas y los datos del bus atendido.

La definición del problema en este caso es: “Fuga abundante por el retén del eje de la bomba de agua”.

El resultado de este paso es que hemos restringido el análisis únicamente al sistema de refrigeración. El estilo de conducción de los conductores de esta empresa de buses parece no influir en los problemas que se presentan, puesto que son conductores entrenados por el fabricante del bus en el manejo de estas unidades.

### **3.2 Paso 2: Organizar y ejecutar la recolección de la información**

Para este paso son requeridos los catálogos de piezas, manuales de servicio y guías de análisis de fallas proporcionados por el fabricante. En este caso estudiado, la historia de problemas anteriores se encuentra a disposición. Al estudiarla se nota que el problema solo ocurre en los buses de esta empresa de transportes. Existen buses del mismo modelo que son operados por transportistas que circulan en rutas distintas a los buses estudiados en este informe. En esos casos no ha habido fallas. Por tal motivo se limita el estudio a los motores de este operador. Ciertas herramientas como

linternas, lupas y cámaras fotográficas son útiles cuando se encuentren en el sitio. Se debe asegurar contar con ellas en el momento que se presentan las fallas para analizar con el rigor debido. Con ellas se determinó que las bombas no tienen fracturas en su superficie, lo que sugiere que no hay daños debido a agentes externos. No fue necesario el uso de equipo especializado para mover componentes pesados. Usualmente es buena idea tener a otras personas con mayor experiencia mirando las piezas que fallaron y compartir ideas de lo que pudo haber pasado. Mejor aun cuando existe personal técnico entrenado por el fabricante y que está a cargo de la supervisión de la flota de buses del operador. Existen dos turnos (diurno y nocturno) para el personal técnico. Se tiene que comunicar al personal técnico de todos los turnos que está planificado el examen de las bombas reportadas como defectuosas y verificar que tengan todo el equipamiento para poder realizar el reemplazo de la misma. Cuando se detecte una bomba defectuosa, se extraerá del motor y empacará en el embalaje original de la bomba nueva que la reemplaza (incluye una bolsa plástica que previene de corrosión y del ingreso de contaminantes). Luego todo esto se guardará dentro de una caja de cartón que contiene los datos del motor, el kilometraje del bus, el modo de falla y la fecha de la intervención. A continuación todas las bombas serán almacenadas apropiadamente en un espacio destinado especialmente para ello en el almacén. Finalmente el técnico rellenará la “Hoja de taller”, el cual es un documento que deja constancia y describe la intervención. El archivo de todas estas hojas de taller brinda detalles que son útiles para nuestro estudio y para el operador del bus. Esto demanda gran esfuerzo en la coordinación de personal, equipo y almacenamiento, pero se obtienen resultados favorables cuando todo se desarrolla con el rigor debido.

### 3.2.1 **Recolección de información**

Dentro del “*Paso 2: Organizar la recolección de la información*” se deben tener en cuenta dos problemas comunes que se presentan durante el proceso: Las personas pueden suministrar información imprecisa o errónea. Podría darse el caso que, ante la falla masiva de las bombas de agua y que la causa raíz permanece aún desconocida, los técnicos sientan que se les va a hacer responsables de la misma. Por tal motivo colocarían en la hoja de taller datos totalmente subjetivos. En tal caso los hechos deben ser verificados realizando preguntas cuantitativas y cualitativas. Para realizar estas preguntas hay que basarlas en el procedimiento específico recomendado por el fabricante, utilizando herramientas adecuadas y datos de parámetros con sus respectivos rangos permisibles. Así estaremos seguros de haber obtenido hechos reales, no mentiras, suposiciones u opiniones subjetivas. Incluso el personal técnico puede tener ideas preconcebidas acerca de los problemas, hechos o causas básicas. Para este informe se anotan únicamente los hechos reales obtenidos en campo, no lo que el recolector de datos cree que signifiquen.

El segundo problema que se puede encontrar en la búsqueda de información es que las causas básicas pueden haber ocurrido mucho antes de que la falla se presentara. En este informe no se ha encontrado la causa básica al momento de la falla. Se indaga sobre situaciones anormales o reparaciones efectuadas en el pasado, encontrando que esta falla ha aparecido sin antecedentes.

### 3.3 **Paso 3: Observar y registrar los hechos.**

Los hechos son el punto de partida para reconstruir lo que pasó en el pasado. Ellos son como las piezas de un rompecabezas: cuanto más piezas, más completa será la



fotografía. Si los hechos se pasan por alto, se desconocen, se pierden o se destruyen, partes de la fotografía pueden desaparecer. La obtención de hechos es tan importante que la mayor parte de este capítulo está dedicado a su reconocimiento. Es muy importante examinar los equipos que han fallado tan pronto se presente la falla. De esa manera se tiene la mejor oportunidad para obtener hechos reales antes de que alguien comience a alterar el equipo. Cada vez que se mueve, desarma o cambia en alguna forma el producto, se puede perder o destruir información importante. Para este informe, todas las intervenciones del personal han sido del tipo correctivo. El personal técnico dejó registradas las intervenciones mediante las hojas de taller. Las hojas de taller se rellenan inmediatamente después de haber terminado la intervención.

Se examina visualmente toda la información y se registran los hallazgos. A medida que se descubren los hechos se deben registrar en las hojas de taller. Se han tomado y archivado fotografías para asegurar que la información no se pierda.



Figura 31: Bomba de agua reportada como defectuosa por fugas en el retén.

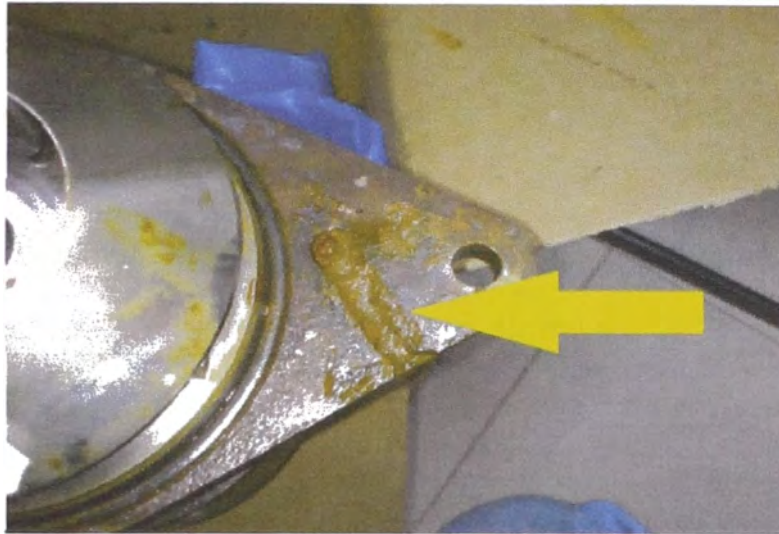


Figura 32: Acumulación de sólidos en el drenaje de la bomba.

En la figura 31 se aprecia fuga y acumulación de sólidos en el drenaje de la bomba. Los álabes del rodete están en buen estado. El registro muestra que ha recibido el mantenimiento (cambio de filtros, aceite y refrigerante) dentro de los kilometrajes recomendados por el fabricante del motor. Se intervino el motor a causa de que el técnico de servicio notó fuga excesiva de refrigerante durante una inspección rutinaria.

En la figura 32 se aprecia otra bomba reportada como defectuosa. También se aprecia acumulación de sólidos en el agujero de drenaje de la bomba. El registro de mantenimiento revela que también recibió cambio de filtros, aceite y refrigerante dentro de los plazos recomendados.

Tal y como lo mencionamos, se debe evitar ideas preconcebidas. A medida que se reúne la información, se podría estar tentado a tratar de explicar los hechos mediante una idea de lo que ocurrió. Esto es muy peligroso y frecuentemente nos lleva al camino equivocado. Hay que mantenerse enfocado en conseguir toda la información

posible mediante el uso de la inspección visual y evitar las ideas preconcebidas de lo que ocurrió.

Una buena forma para evitar ideas preconcebidas es pedir a alguien más que haga un análisis independiente y luego compararlo con su trabajo. Si la consulta se hace a personal calificado con mayor conocimiento y experiencia en la materia, se puede descubrir algo que se haya pasado por alto o lo que no ha tenido en cuenta. Cuando se considere que se tienen todos los hechos que se pueden encontrar, se puede continuar con el siguiente paso: pensar y analizar los hechos. No es sorprendente que al estar en el *paso 4: “Analizar la información obtenida”* se tuviera que regresar al *paso 3: “Observar y registrar los hechos”* después de haber analizado los hechos. Esto es normal ya que se necesitaría buscar otra información para comenzar a pensar sobre lo que significan los hechos. Después de obtener toda la información, esta se tabula y da como resultado la tabla 2 (aparece en la página 57), la cual registra los buses intervenidos por este problema.

#### **3.4 Paso 4: Analizar la información obtenida**

Durante el paso 3, se observó lo sucedido y se llenó las hojas de registro de los hechos. Cada dato muestra lo que ocurrió a una bomba en un momento determinado en el tiempo. Esto es una pieza más del rompecabezas y representa un “evento”. Los eventos son condiciones anormales o circunstancias que ocasionaron los hechos visibles. Para cambiar de hecho a evento, aquí debe preguntarse ¿Qué veo? y ¿Qué significa esto? A medida que se cambian hechos por eventos, vienen a la mente más sitios para ir y buscar información. Si hay fugas por el agujero de drenaje de la bomba, lo más probable es que el retén de la misma haya fallado. Se repite el paso 3

en otras bombas afectadas y se corrobora esta información. Todas tienen una apariencia similar a las vistas en las figuras 31 y 32.

Este retén está instalado en el eje y aísla el eje del medio bombeado. Es apenas lo suficientemente permeable para permitir el paso de refrigerante hacia el interior de la bomba que servirá para lubricar y refrigerar el retén de la misma<sup>16</sup>.


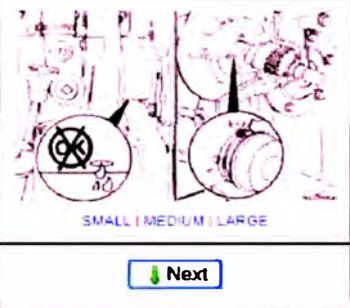
<b>Mantenimiento</b>		TOC
<p>Verifique el cuerpo de la bomba de agua por indicios de fugas de refrigerante a través del agujero de drenaje.</p> <p>Rastros de químicos o acumulación de químicos en el agujero de drenaje no son justificación para el reemplazo de la bomba. Si un flujo estacionario de refrigerante es observado, reemplace la bomba de agua con una nueva.</p> <p>Contacte a un taller autorizado</p>		

Figura 33: La verificación inicial, según el manual del motor, indica que es normal observar un desarrollo pequeño de cristalitas o pequeñas fugas de refrigerante a través del retén de la bomba.

<sup>16</sup> Manual de servicio del motor "Cummins".

Tabla 2: Datos recogidos en campo, en ella se registran las fallas de las bombas.

Fueron 39 intervenciones registradas en 2011.

Item	Bus	Recorrido (Km)	Fecha de falla
1	B20	46345	04/02/2011
2	V28	38778	29/04/2011
3	B18	18529	11/05/2011
4	P09	46417	04/07/2011
5	P13	43014	07/07/2011
6	B34	32660	15/07/2011
7	M49	31949	25/07/2011
8	P37	42658	06/08/2011
9	P43	42437	13/08/2011
10	B08	39797	20/08/2011
11	B10	51622	23/08/2011
12	B29	42154	25/08/2011
13	B19	60677	12/09/2011
14	B07	40884	13/09/2011
15	P29	42806	21/09/2011
16	V27	61264	21/09/2011
17	V32	43569	21/09/2011
18	P12	47403	28/09/2011
19	V09	68521	29/09/2011
20	P27	37639	12/10/2011
21	B04	56301	19/10/2011
22	V34	59821	20/10/2011
23	V15	65049	20/10/2011
24	P23	56301	21/10/2011
25	B18	45337	24/10/2011
26	P34	46009	25/10/2011
27	P15	43692	26/10/2011
28	B32	63924	26/10/2011
29	P01	63924	26/10/2011
30	V03	58443	04/11/2011
31	V11	82514	05/12/2011
32	V29	70921	09/12/2011
33	P35	48751	12/12/2011
34	V36	34248	22/12/2011
35	B15	67527	23/12/2011
36	V35	66835	26/12/2011
37	P36	49646	26/12/2011
38	B12	55494	27/12/2011
39	B05	84621	30/12/2011

Esta fuga detectada en varias bombas indica un problema en el sistema de refrigeración. Se comprobó que el ajuste de los pernos y operación del sistema de refrigeración son correctos. Se comprobó que los termostatos abren dentro del rango aceptable por el fabricante. Por lo tanto el daño en la bomba no se debe a un recalentamiento. Los sensores de temperatura fueron probados y todos pasaron la prueba. No se aprecian huellas de impactos o daños debidos a agentes externos en la bomba, por lo que se deduce que el agente que dañaría los retenes tendría que ser interno al motor. Entonces se tiene que pensar en otros lugares en el interior del motor en donde se pueda conseguir más información.

A continuación se examina el medio bombeado, el cual es el refrigerante recomendado por el fabricante y descrito en el apartado 2.5 *“Descripción del refrigerante para motores a gas natural”*.

Mediante una herramienta óptica llamada refractómetro, se mide el punto de congelamiento del refrigerante. El punto de congelamiento del refrigerante está estrechamente vinculado con la dilución del mismo.

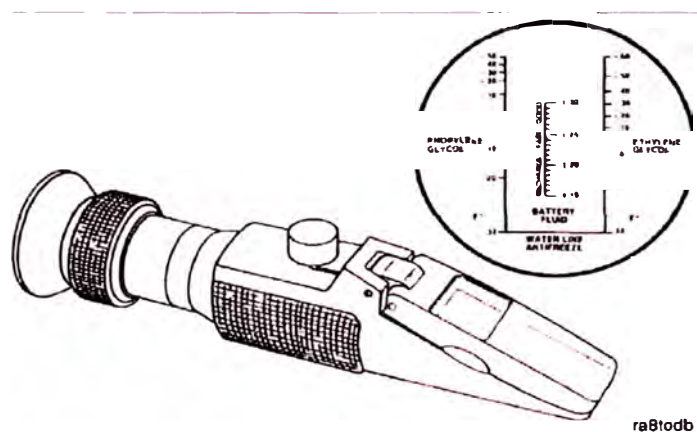


Figura 34: El refractómetro nos arrojará los valores del punto de congelación del refrigerante. Con él se obtendrá indirectamente la dilución del refrigerante.

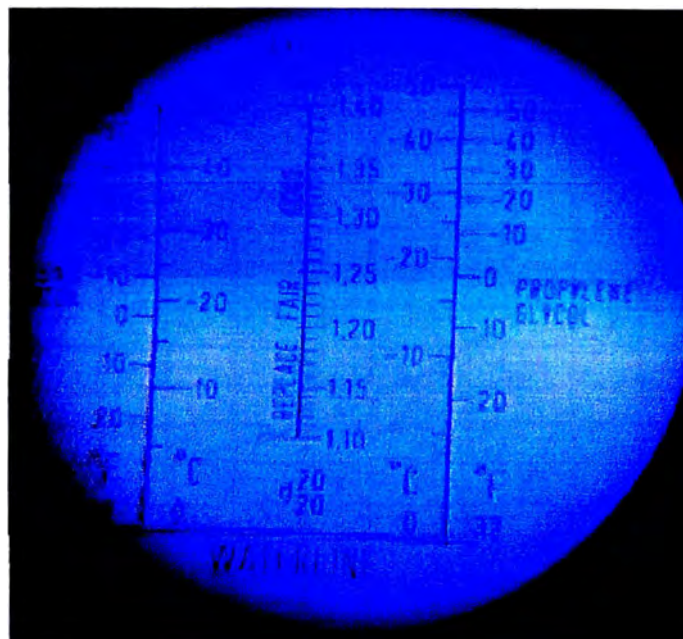


Figura 35: Fotografía de la lectura arrojada por un refractómetro. La línea que separa ambos tonos de celeste es un indicador del punto de congelamiento del refrigerante, aquí alrededor de  $-24^{\circ}\text{C}$  (columna de la izquierda).

La muestra de refrigerante debe ser obtenida del radiador, no del tanque de expansión<sup>17</sup>. Se toma una gota de la muestra del refrigerante extraída del motor a evaluar y se coloca en el prisma del refractómetro. Se cierra la cubierta y se observa por el lente del mismo. El refractómetro nos arroja una lectura de  $-11^{\circ}\text{F}$  ( $-24^{\circ}\text{C}$ ) para el punto de congelamiento del refrigerante. Ver figura 28. En realidad, en climas como el de Lima Metropolitana no es tan preocupante que el refrigerante alcance el punto de congelamiento. Lo que es más preocupante es hallar la temperatura de ebullición del refrigerante. Si ingresamos con este valor al gráfico mostrado en la figura 28, entendemos que la concentración está alrededor del 40% en volumen. Este porcentaje de dilución nos daría una temperatura de ebullición de  $221^{\circ}\text{F}$  ( $105^{\circ}\text{C}$ ). Esto se puede entender gráficamente como en la figura 36.

<sup>17</sup>“Modern diesel technologies”. Sean Bennett. Página 148.

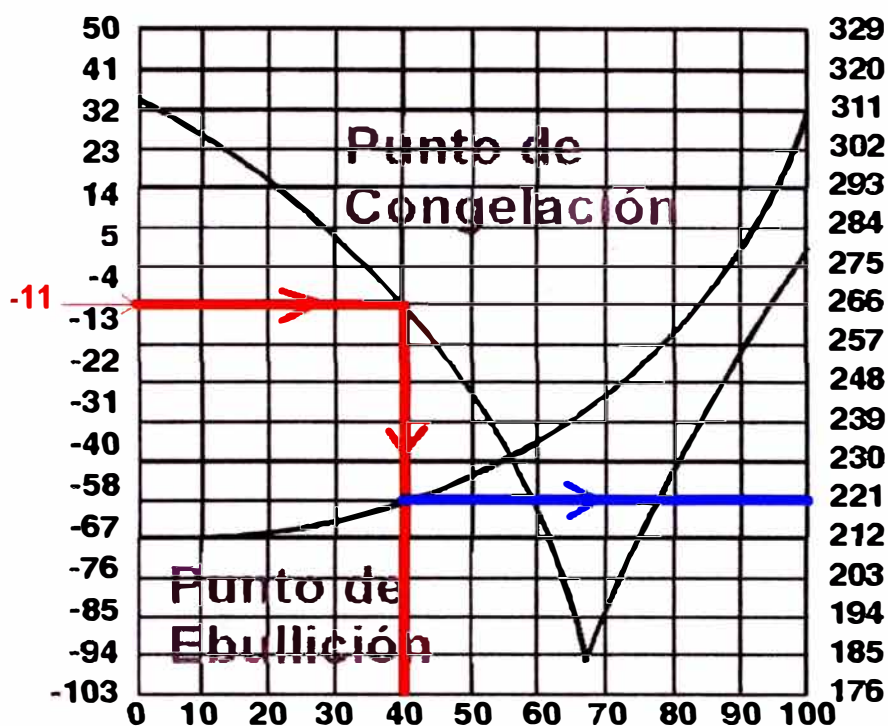


Figura 36: Obtención de los puntos de congelamiento y ebullición para la muestra de refrigerante.

Las ordenadas izquierda y derecha muestran temperaturas en grados Fahrenheit. Las abscisas muestran concentración de etilenglicol en la mezcla acuosa.

Según Manuel Arias-Paz, es necesario emplear anticongelantes con puntos de ebullición por encima de las temperaturas reales de trabajo<sup>18</sup>, ya que las presiones absolutas en el sistema de refrigeración (que en este caso de estudio llegan a 2 atmósferas) equivalen a temperaturas de ebullición del anticongelante entre 140°C y 150°C. En otro caso, los líquidos se evaporarían y producirían cavitación.

En nuestro caso, el etilenglicol acuoso al 40% en volumen equivaldría a un porcentaje en masa de 43%. Ver figura 37. Con este porcentaje, y a una presión absoluta de 2 atmósferas (1520 mmHg) tendríamos que la temperatura de ebullición sería de 272°F (133°C). Ver figura 38. Este es un valor aceptable, puesto que el

<sup>18</sup> "Manual de automóviles" (Manuel Arias-Paz, 2006)



motor está diseñado para trabajar en el rango de 90°C a 100°C y nos da un margen para poder manejar posibles recalentamientos.

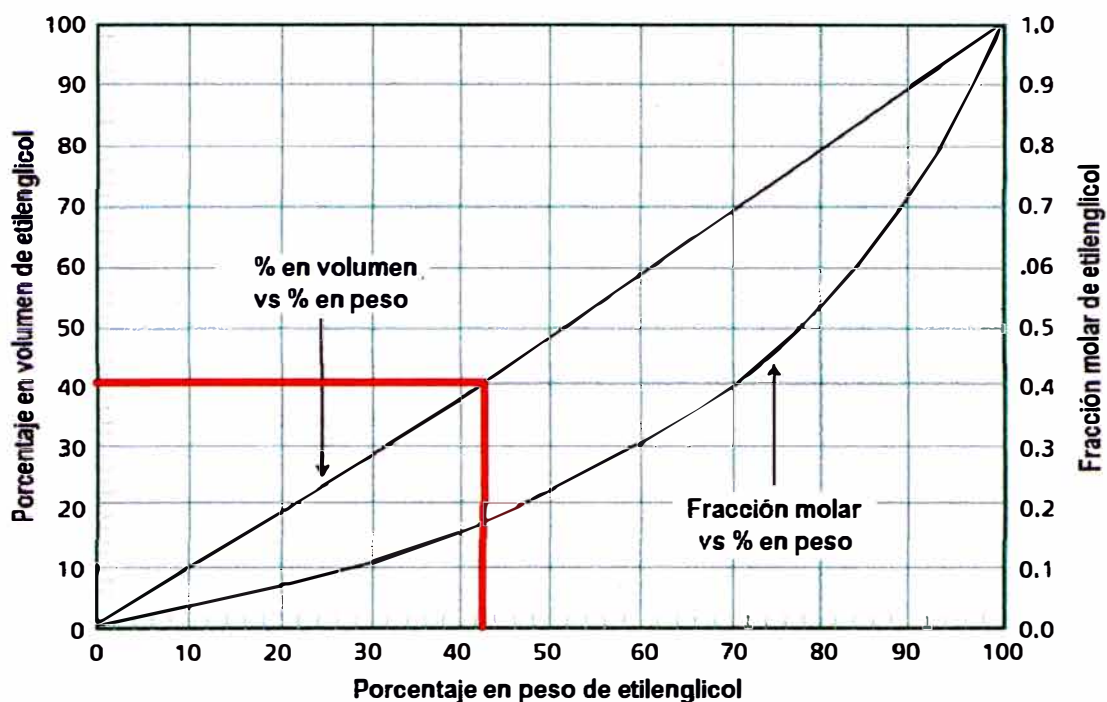


Figura 37: Carta de conversión de soluciones acuosas de etilenglicol.

Tomado de "Etilenglicol: Guía del producto" (MEGlobal Inc., 2008)

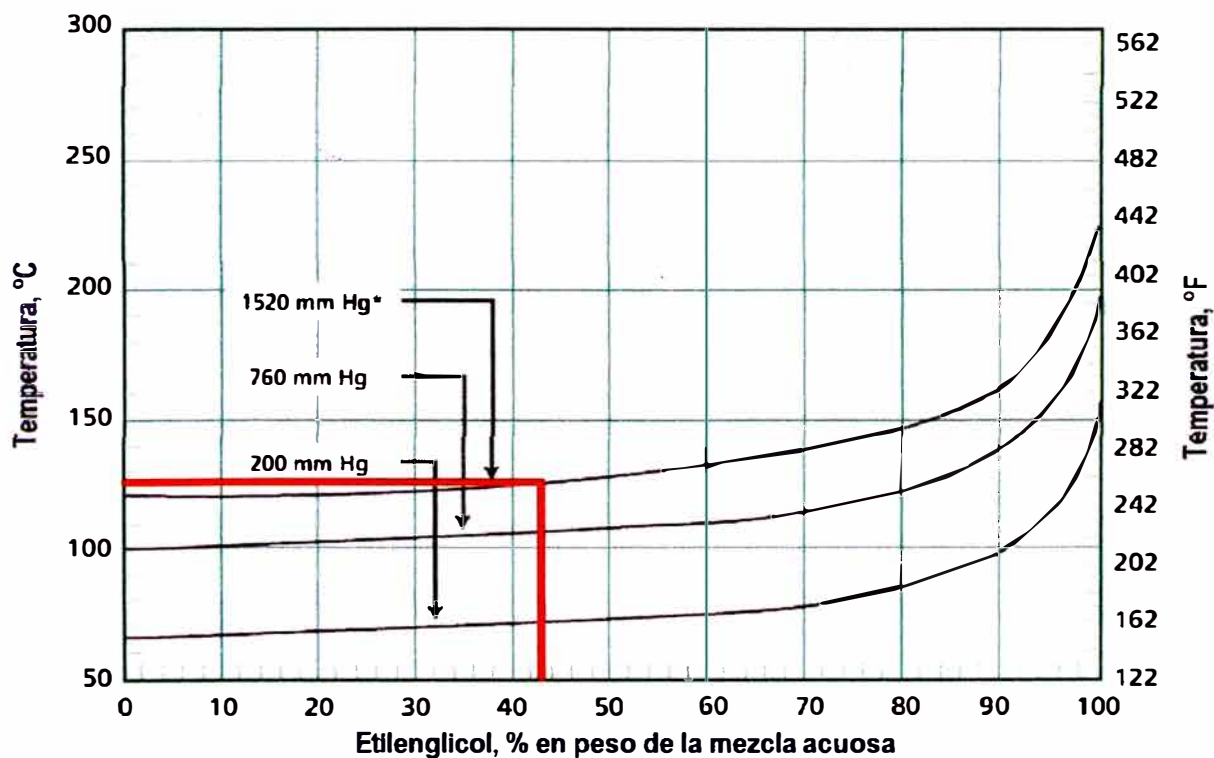


Figura 38: Punto de ebullición vs composición de soluciones acuosas de etilenglicol a distintas presiones.

Tomado de "Etilenglicol: Guía del producto" (MEGlobal Inc., 2008)

Finalmente se utilizan unas tiras de ensayo para medir la condición de los aditivos del refrigerante. Se toma una muestra del mismo. La temperatura del refrigerante debe estar entre 10°C y 55°C al momento del test, el cual debe ser completado dentro de 45 segundos. Se sumerge la tira de ensayo en la muestra de refrigerante y se extrae inmediatamente. Luego se comparan los colores de la tira con la cartilla proporcionada por el fabricante.

Cada tira de ensayo está compuesta por 3 almohadillas (“*pads*”)

Almohadilla A: (ubicada en el extremo de la tira). Mide el porcentaje de anticongelante (en este caso etilenglicol) en la mezcla. Al usar refrigerante premezclado 50-50, la tira también indica un 50% en volumen de etilenglicol. Arroja resultados hasta con un error de 10 puntos porcentuales, por lo que es necesario comprobar la lectura con un refractómetro (tal y como se describió en la página anterior).

Almohadilla central B: Mide la concentración de molibdatos, los cuales neutralizan la formación de ácidos en el refrigerante.

Almohadilla C: Analiza la concentración de nitritos, los cuales recubren las paredes de las camisas de cilindros previniendo la cavitación.

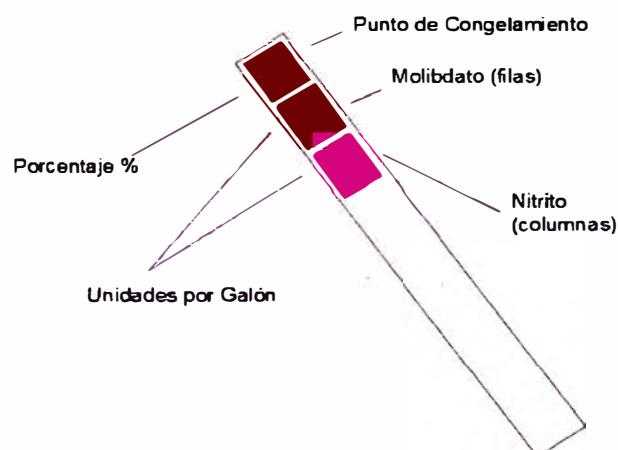


Figura 39: Tira de ensayo típica. Contiene las 3 almohadillas para medir la condición de los aditivos en el refrigerante

En este caso de estudio, las tiras de ensayo arrojan como resultado que se tienen 5 unidades de aditivos por galón. Lo que es lo mismo<sup>19</sup> a decir que se tiene 1.32 unidades por litro de mezcla refrigerante. Este valor resulta elevado, puesto que ya se había determinado que el rango permisible es de 0.4 a 0.8 unidades por litro de mezcla. Esto quiere decir que se tiene una alta concentración de aditivos circulando el sistema de refrigeración.

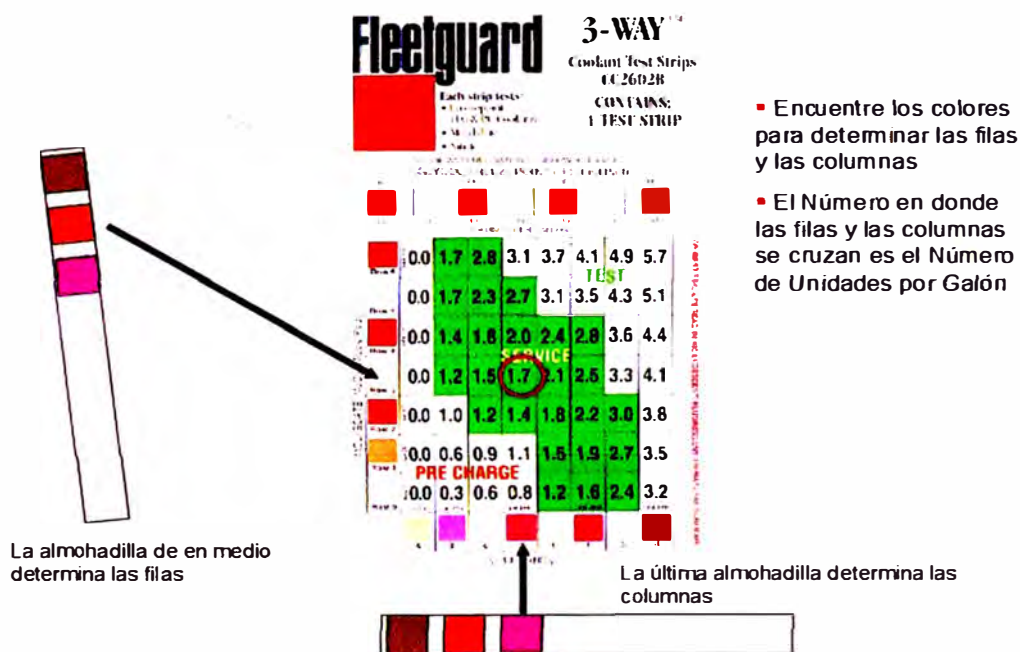


Figura 40: Cartilla de prueba utilizada con las tiras de prueba "Fleetguard 3-Way", recomendadas por el fabricante del motor.

<sup>19</sup> 1 galón americano=3.785 litros.

Ya que los eventos son condiciones que existieron en algún momento, se puede determinar el orden en el que ocurrieron. Esto requiere pensar en la relación causa y efecto.

### **3.5 Paso 5: Determinación de la causa básica.**

Cuando se ha completado la secuencia de eventos, se necesita seguir adelante para determinar la causa básica más probable.

Hay 3 condiciones principales que afectan la vida del retén y pueden conducir a falla prematura de la bomba<sup>20</sup>.

Primero, las fugas por el retén pueden ocurrir a partir de operar el bus a altas temperaturas. Un motor sobrecalentado con bajos niveles de refrigerante pueden causar:

- Envejecimiento por calor de los componentes.
- Potencial ebullición del fluido entre las caras sellantes del retén.
- Potencial distorsión de la planitud de las caras del retén.

Esta causa se descarta porque los motores analizados en este informe no han tenido problemas de recalentamiento. Al ser motores con gestión electrónica, tienen sensores de temperatura del refrigerante del motor. En caso de sobrecalentamiento, estos sensores envían una señal de alarma hacia la computadora del motor. La computadora valida la falla y enciende la luz roja en el tablero de instrumentos y

---

<sup>20</sup> "Water pump failures and causes" ([www.asc-ind.com](http://www.asc-ind.com))

guarda en su memoria dicho evento. Mediante una laptop que tiene instalado el software recomendado por el fabricante y los cables de conexión entre la computadora y la laptop, se escanea el motor en búsqueda de estos registros de temperatura alta. No los hubo. Se prueba además la resistencia de los sensores y se compara con la tabla proporcionada por el fabricante. Se encuentra que todos ellos están dentro del rango permisible. Sobre la base de estos resultados concluimos que no hubo recalentamiento en el motor.

La segunda razón es debida a condiciones mecánicas. Estas condiciones podrían incluir excentricidad en la polea de la bomba, excesiva vibración debido a desalineamiento de fajas o poleas. Esta razón se descarta porque los reportes de los técnicos indican que las poleas y fajas estaban alineadas. La verificación en campo arrojó el mismo resultado.

Finalmente, una falla en el retén puede ser causada por una contaminación abrasiva o por depósitos entre las caras sellantes. A pesar de que actualmente las distancias entre las caras sellantes reducen significativamente la admisión de cualquier partícula sólida, la formación de una película adhesiva o abrasiva podría causar fugas a través del retén. Esta es la causa que habría causado la falla en los retenes de estas bombas.

Al final del paso 4, las tiras de prueba revelaron que los aditivos del refrigerante están por encima del máximo 0.8 unidades por litro (o su equivalente de 2.5 unidades por galón americano), lo cual produce que estos aditivos se depositen en el la luz del retén de la bomba, provocando desgaste abrasivo y por consiguiente el fallo de la

misma. Este fenómeno es conocido como “gelación” debido a que los depósitos tienen consistencia como de gel. Ver figura 20.

Durante el 2011, la única puerta de entrada de aditivos al refrigerante de estos motores era a través del filtro de agua. Esto hace sospechar que el filtro de agua no es el adecuado. Se constata en campo que el filtro instalado es el modelo WF2073 marca Fleetguard.

Se busca información para determinar que el filtro WF7023 es el indicado para esta aplicación. El manual de mantenimiento del motor (Tabla 1) se sugiere revisar el nivel de aditivos cada 500 horas. En el Capítulo 1 se había indicado que la velocidad promedio de estos buses era de 24 Kilómetros por hora. Entonces el recorrido promedio en 500 horas será 12000 Kilómetros. Eso quiere decir que cada 12000 Kilómetros se tiene que revisar la concentración de aditivos. En el Capítulo 2, específicamente en el apartado 2.5: “*Descripción del refrigerante para motores de combustión interna*”, se indica que el refrigerante premezclado comercializado por el fabricante del motor viene precargado con 2.2 unidades de aditivos por galón (0.6 unidades por litro, o lo que es lo mismo, 60 mililitros de aditivo por litro de refrigerante).

Entonces, lo adecuado es reponer las unidades de aditivos que se van diluyendo producto del trabajo del motor. La Tabla de Servicio mostrada en la figura 35 determina la cantidad de DCA4 (aditivos de la marca Fleetguard) que debe añadirse por cada 125 horas de funcionamiento del motor (aproximadamente 3000

Kilómetros). El filtro del refrigerante de servicio debe sustituirse a cada cambio de aceite. La cantidad de DCA4 recomendada en la Tabla de Servicio hará que aumente la concentración a lo largo del tiempo, pero esta mayor concentración es deseable y normal.<sup>21</sup>. Ver Figura 41.

Tabla 3: Tabla de servicio para determinar la reposición de los aditivos faltantes en el refrigerante.

### Tabla de servicio (capacidad media - ej. camiones)

Añada el número de unidades DCA4 indicado en esta tabla

Sistema de refrigeración	Kilómetros	8,000	16,000	24,000	32,000	40,000
capacidad (litros)	Horas	125	250	375	500	625
1-19		2	2	2	2	2
20-39		2	2	4	4	4
40-58		2	4	4	6	8
59-77		2	4	6	8	12

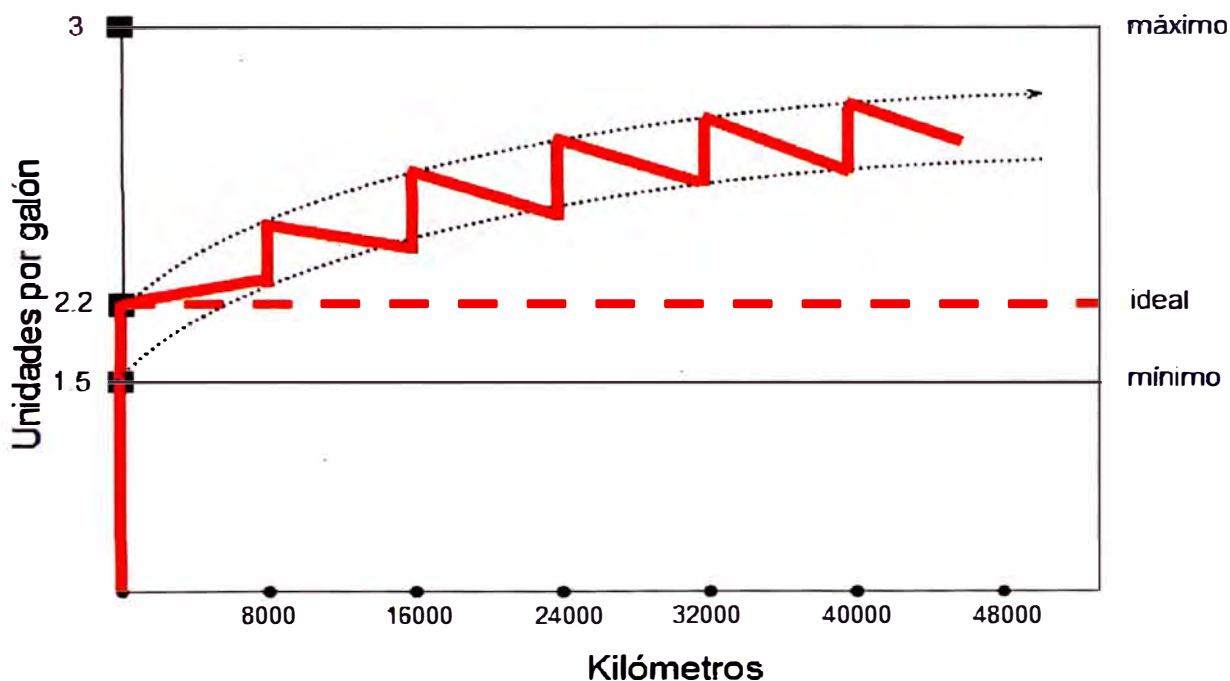


Figura 41: Concentración de aditivos líquidos versus recorrido del bus.

<sup>21</sup>Boletintécnico LI33021. (Fleetguard Inc.)

El uso de la Tabla 3 es válido para casos en los que el nivel de aditivos esté por encima del rango permisible de 1.5 unidades por galón (0.4 unidades por litro de refrigerante) hasta 3 unidades por galón (0.8 unidades por litro de refrigerante). En el caso que se encuentre por debajo de estos límites, hay que añadir la cantidad normal de DCA4 (aditivos) especificada en la Tabla de Servicio (Tabla 3) además de la cantidad especificada en la Tabla de Precarga (Tabla 4). Esta acción de precarga elevará la concentración a un nivel aceptable.

Tabla 4: Tabla de precarga.

**Tabla de precarga - usando anticongelante**

Cambie el filtro de servicio y añada la cantidad de DCA4 indicada en esta tabla

Sistema de refrigeración capacidad (litros)	Cantidad de DCA 4 necesaria	
	<u>unidades</u>	<u>litros</u>
19-28	10	1.0
29-43	15	1.4
44-58	20	1.9
59-77	25	2.4
78-115	40	3.8
116-191	60	5.7
192-285	90	8.5
286-380	120	11.4
381-569	180	17.0

El sistema de refrigeración de estos buses tiene una capacidad total de 40 litros. Con este dato se ingresa a la *Tabla 3: "Tabla de servicio en función de la capacidad"*, y se clasifica al motor en el rango de 40 a 58 litros. Entonces tendremos que agregar 2 unidades (0.2 litros) de aditivos líquidos a nuestro refrigerante cada 125 horas.

Como ya se mencionó, el fabricante seleccionó e instaló el filtro WF7023, el cual era reemplazado por el operador del bus cada 10000 Kilómetros (intervalo de cambio de aceite), lo cual está 2000 Kilómetros por debajo de lo sugerido por el fabricante en su manual de mantenimiento (ver Tabla 1). Este filtro, además de retirar las partículas



contaminantes del flujo, también contiene pastillas solubles de aditivos, los cuales se van liberando al paso del flujo de refrigerante por ellos.

En la *Tabla 5: “Filtros y concentraciones de aditivos”* se muestra que el filtro WF2073 contiene el equivalente a 8 unidades de aditivos (0.8 litros). Estas unidades se van diluyendo en el refrigerante a medida que éste pasa por el interior del filtro.

Tabla 5: Concentraciones de aditivos en cada filtro.

<b><u>Filtros DCA4</u></b>	
<b>Referencia</b>	<b>Unidades</b>
WF 2070	2
WF 2071	4
WF 2072	6
WF 2073	8
WF 2074	12
WF 2075	15
WF 2076	23

Estas 8 unidades (0.8 litros) que se diluirían en los 40 litros de refrigerante del motor son cantidades muy altas de aditivos líquidos, las cuáles exceden las que son necesarias para reponer las que se van degradando en el refrigerante por el trabajo del motor.

Hemos encontrado la causa del exceso de aditivos en el refrigerante. Este exceso es el que habría originado que se depositen en la luz o separación del retén, provocando que esta luz se incremente y desencadene la fuga excesiva de refrigerante. Entonces el origen de la falla es químico y no mecánico.

Con esto se logra alcanzar el objetivo principal de este informe: demostrar que la falla tiene orígenes químicos y no mecánicos

Lo siguiente es determinar QUIEN es el responsable. Usualmente esto es fácil una vez que se conoce COMO y CUANDO ocurrió. Se necesitar descubrir quién prestó el último servicio al motor o si se ha efectuado el mantenimiento adecuadamente. Todo esto ha sido analizado en este capítulo, determinando que el filtro de agua fue seleccionado e instalado por el representante local del fabricante. El representante local del fabricante entregó estos motores con un filtro de agua incorrecto. El operador de estos buses reemplazaba estos filtros de agua incorrectos por otros del mismo modelo en cada cambio de aceite (10000 Kilómetros). En nuestro informe, el retén falló debido a altas concentraciones de DCA4 (aditivos del refrigerante). El planteamiento de la causa básica es que el representante local del fabricante y los responsables de mantenimiento accidentalmente permitieron que el nivel de aditivos aumentara demasiado, causando un sobre-enriquecimiento del refrigerante que se depositaron en el retén de la bomba hasta hacerla fallar y provocar una fuga excesiva de refrigerante a través del agujero del desfogue de la misma. Este enunciado explica:

- Que ocurrió: Fuga excesiva de refrigerante por el retén.
- Como ocurrió: Alta concentración de aditivos en el refrigerante.
- Quienes fueron los responsables: El representante local del fabricante (al proveer un filtro inadecuado) y los responsables del mantenimiento

(al no efectuar el análisis del refrigerante a los intervalos recomendados).

### 3.6 Paso 6: Proponer mejoras

El objetivo de este paso es generar alternativas de solución y decidir sobre la mejor.

Ahora que se sabe que el filtro de agua no es el más indicado para esta aplicación, nos basamos en la sugerencia que aparece en el Boletín Técnico LI33021, el cual indica que no se debe sustituir el filtro de agua conteniendo pastillas solubles de DCA4 (aditivos) ni añadir líquido DCA4 (aditivos líquidos) hasta que la concentración descienda por debajo de 0,8 unidades por litro (3 unidades por galón) de refrigerante en el sistema.

El siguiente paso es proponer un filtro de agua adecuado para esta aplicación.

Una alternativa de solución podría ser colocar un filtro de agua que no contenga aditivos. Luego estos aditivos se agregarían en forma líquida, según las cantidades recomendadas en la Tabla 3. El filtro sin aditivos sería el modelo WF2077 de la marca Fleetguard, según lo recomendado en su Boletín Técnico 3300962A.


Filtros no químicos		Vida útil standard	
	Producto	Beneficios	
	La misma vida útil que los filtros cargados con DCA4 pero sin químicos		<ul style="list-style-type: none"> <li>Proporciona protección contra la corrosión y erosión cuando otras formas de adición de aditivos es preferida</li> </ul>
	WF2077	11/16 W/16	Cummins, Caterpillar, Detroit & Other
	WF2078	3/4 W/20	Mack
	WF2079	1-16 UN-2B	Mack

Figura 42: El filtro si aditivos recomendado por el fabricante del refrigerante es el modelo WF2077

(Tomado del Boletín Técnico 3300962A)

La otra alternativa sería elegir un filtro de liberación lenta, el cual tiene un mecanismo de liberación distinto al del filtro de liberación inmediata como el que está instalado en estos motores.

En el filtro de liberación inmediata, el flujo de refrigerante ingresa al filtro, pasa a través de las pastillas de aditivos y sale hacia el motor. La concentración de aditivos se eleva hasta el máximo desde la instalación del filtro.

En el filtro de liberación lenta, el flujo de refrigerante circula por el filtro sin entrar en contacto con las pastillas, es cargado con la cantidad correcta de aditivos y sale del filtro rumbo al motor. En este filtro, la descarga de aditivos se produce por el fenómeno de difusión. Es decir, los aditivos son liberados hacia el refrigerante solamente cuando la concentración en el flujo de refrigerante sea menor a la concentración en la cámara de las pastillas. Ver figura 43.

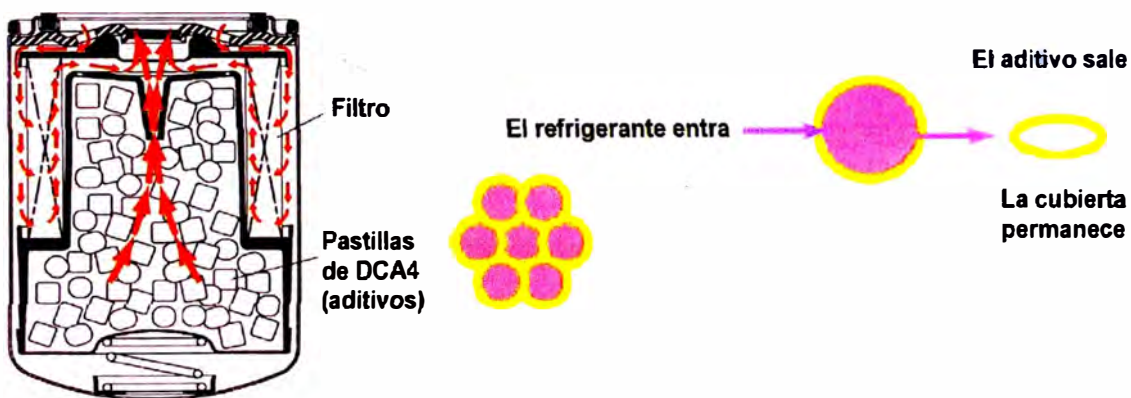


Figura 43: El filtro de liberación lenta permite agregar aditivos solamente cuando es necesario.  
(Tomado del Boletín Técnico 3300962A)

Para esta segunda opción se podría utilizar el filtro WF2071. Este filtro es de vida extendida (4000 horas de vida útil, aproximadamente 96000 Km.) por lo que para

mejores resultados tendría que usarse en combinación con un refrigerante de vida útil extendida también.

### 3.7 Paso 7: Comunicar los resultados

El objetivo de este paso es que todos los involucrados tengan conocimiento de lo ocurrido para evitar la repetición del error. Las comunicaciones se realizan según los formatos establecidos por los responsables de mantenimiento.

Se comunican los hechos al representante local del fabricante del motor para que asuma los costos de reparaciones por garantía. El filtro incorrecto fue seleccionado por ellos.

Se comunican los hechos al operador, para que su personal de mantenimiento tenga conocimiento de la causa de la falla y pueda modificar el plan de mantenimiento para incluir revisiones periódicas del estado del refrigerante con el fin de reducir al mínimo el mantenimiento correctivo de la flota.

### 3.8 Paso 8: Realizar las reparaciones siguiendo el manual del fabricante.

Cuando una bomba falla por excesiva fuga de refrigerante, el manual de mantenimiento sugiere reemplazarla por una nueva. Según el manual de reparaciones del motor, el procedimiento es el 008-062 con un tiempo estimado de 2 horas (incluye drenar el sistema de refrigerante). El detalle del procedimiento completo muestra en el Anexo 1.

Con esto concluye este capítulo. Los ocho pasos del análisis práctico de fallas suministran un enfoque organizado para identificar las causas de la fallas y tomar las acciones correctivas necesarias. Los primeros cinco pasos son determinantes para solucionar el problema, en los cuales se identifica la causa básica más probable y la condición específica que comenzó la falla.

## **CAPÍTULO 4**

### **ANÁLISIS ECONÓMICO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS BOMBAS DE AGUA**

En este capítulo se analiza la viabilidad económica de un posible plan de mantenimiento para prevenir paradas no programadas del bus debidas a fallas en la bomba de agua. Se considerará que las fallas de las bombas se deben exclusivamente a fugas por el retén. La meta es que la bomba tenga una vida útil de un año, el cual es un periodo aceptable según el propio fabricante del motor.

Los costos de este plan de mantenimiento propuesto serán comparados contra el hecho de no hacer nada por prevenir la aparición de la falla. En este último caso, se supondrá que el técnico rellena el refrigerante y nunca realiza un monitoreo del mismo hasta que acabe la vida útil de la bomba.

#### **4.1 Escenario uno: Monitoreo del refrigerante**

Para este escenario, se necesita un técnico con experiencia suficiente en trabajo de campo (mayor o igual a 1 año) quien se encargará de monitorear el refrigerante siguiendo los procedimientos establecidos por el fabricante del motor y del refrigerante. Su sueldo se multiplica por 1.5 puesto que trabajará en el turno noche.

Es decir, en promedio ganará 2250 Nuevos Soles al mes. Para esta tarea necesitará un refractómetro, tiras medidoras de pruebas de aditivos en el refrigerante y tiras medidoras de límites de alcalinidad (pH). El refractómetro sirve para medir indirectamente el punto de congelamiento del refrigerante basado en su concentración. Una concentración superior al 70% de etilenglicol hará que disminuya demasiado el punto de congelamiento del refrigerante y producirá daños al retén de la bomba<sup>22</sup>. Una concentración de aditivos líquidos (en nuestro caso, el aditivo usado es DCA4, fabricado por Cummins) superiores a 2 unidades por galón (lo que equivale a decir 200 mililitros de aditivo por galón de refrigerante) hará que el exceso de los mismos se deposite en forma de gel en el retén de la bomba, aumentando la luz entre los retenes estático y giratorio conduciendo a fugas. Por otro lado, el fabricante del motor recomienda que el pH del refrigerante nunca esté por debajo de 7.5 ni por encima de 11. Como referencia, el refrigerante utilizado por el operador del bus tiene un pH igual a 10 cuando está nuevo. Ver la figura 44.

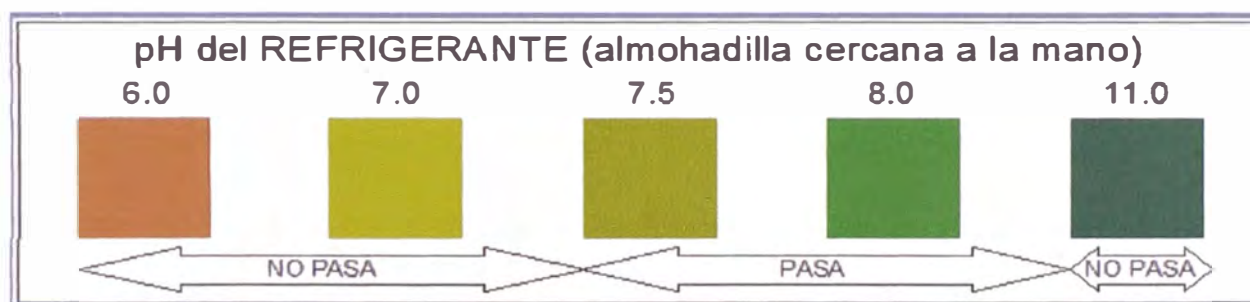


Figura 44: Límites normales del pH del refrigerante Fleetguard.

Las paradas programadas se harían en el turno noche, para evitar afectar el ciclo de trabajo de los buses. Cada técnico se haría responsable de un grupo de 20 buses como máximo.

<sup>22</sup>Manual de mantenimiento del motor Cummins.



#### 4.2 Escenario dos: Sin monitoreo del refrigerante

Para este escenario se necesitan

Se toman los datos de la Tabla 2 y se ordenan por kilometraje de menor a mayor. Luego se procesan según la estadística de Weibull y se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 6.

Lo que se busca es que se compren solamente las suficientes bombas, de tal manera que como máximo en el 5% de las veces no hayan suficientes bombas para atender la demanda de la flota. Dicho en otras palabras, en el 95% de las veces habrá suficientes bombas para atender el requerimiento de mantenimiento. Se utiliza el análisis de Weibull, dado que el kilometraje en el cual ocurre la falla parece ser un número aleatoriamente variable.

El paso inicial para aplicar la estadística de Weibull es ordenar los kilometrajes de menor a mayor. Luego se procede a calcular el rango medio para cada uno de ellos. El rango medio es un número entre 0 a 1 que refleja en orden ascendente la fracción del valor del dato que es menor que el mismo dato. Los rangos medios son los que se muestran en la quinta columna de la tabla 6. La fórmula utilizada es la siguiente:

$$Rango\ medio = \frac{(i - 0.3)}{(n + 0.4)}$$

Donde:

$i$ =es el número de orden del dato dentro del conjunto ordenado

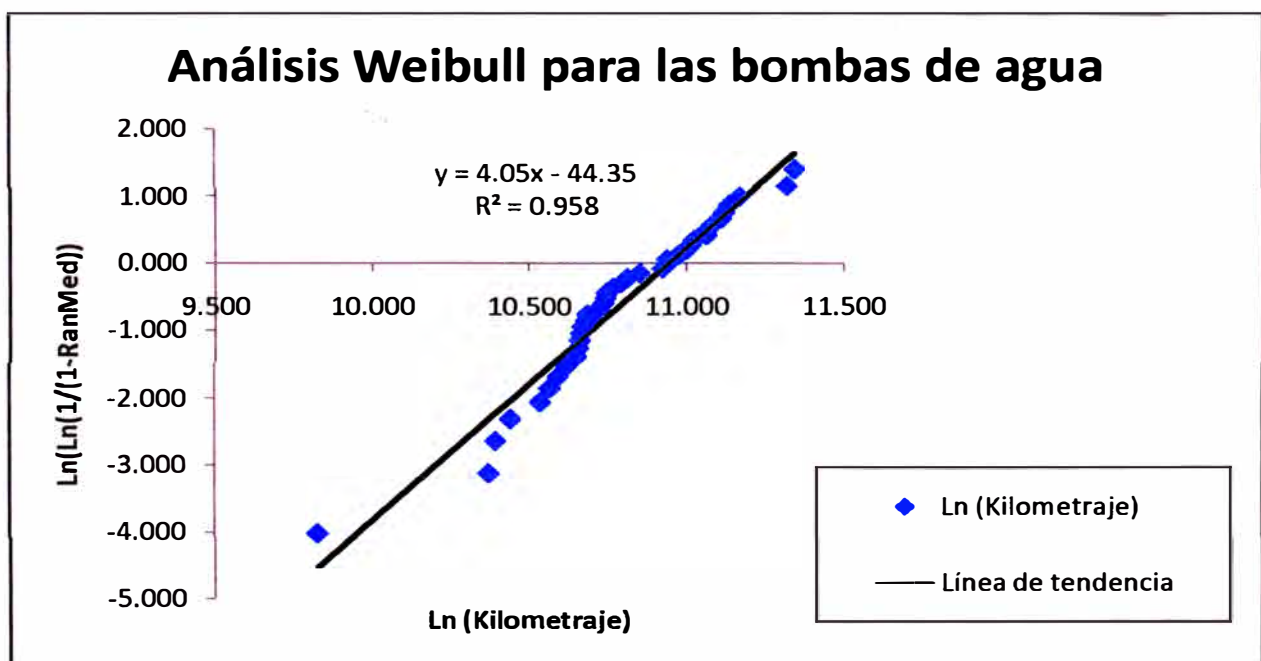
$n$ =es la cantidad de elementos del conjunto ordenado

A continuación se toma doble logaritmo de la inversa del rango medio, obteniéndose los resultados mostrados en la séptima columna de la tabla 6.

Luego se toma logaritmo del kilometraje de falla. Este resultado aparece en la octava columna de la tabla 6.

Finalmente se grafican los resultados. Estos deberían tener una relación lineal. Para las coordenadas X tomamos los datos de la octava columna. Para las coordenadas Y tomamos los datos de la séptima columna.

El resultado se muestra en la figura 45. El valor de  $R^2$  se coloca en el gráfico, y nos indica que el ajuste de la línea de tendencia es de 0.958 (el máximo es la unidad) lo cual se considera aceptable.



**Figura 45**

Ahora se discutirán los resultados de Tabla 6, mostrada a continuación:

Tabla 6: Resultados del análisis Weibull

Item	Bus	Recorrido	Fecha de falla	Rango medio	$1/(1-\text{ran med})$	$\ln(\ln(1/(1-\text{ranmed})))$	$\ln(\text{km})$
1	B18	18529	11/05/2011	0.018	1.018	-4.021	9.827
2	M49	31949	25/07/2011	0.043	1.045	-3.121	10.372
3	B34	32660	15/07/2011	0.069	1.074	-2.645	10.394
4	V36	34248	22/12/2011	0.094	1.104	-2.317	10.441
5	P27	37639	12/10/2011	0.119	1.135	-2.063	10.536
6	V28	38778	29/04/2011	0.145	1.169	-1.856	10.566
7	B08	39797	20/08/2011	0.170	1.205	-1.680	10.592
8	B07	40884	13/09/2011	0.195	1.243	-1.526	10.618
9	B29	42154	25/08/2011	0.221	1.283	-1.388	10.649
10	P43	42437	13/08/2011	0.246	1.327	-1.264	10.656
11	P37	42658	06/08/2011	0.272	1.373	-1.149	10.661
12	P29	42806	21/09/2011	0.297	1.422	-1.043	10.664
13	P13	43014	07/07/2011	0.322	1.476	-0.944	10.669
14	V32	43569	21/09/2011	0.348	1.533	-0.850	10.682
15	P15	43692	26/10/2011	0.373	1.595	-0.762	10.685
16	B18	45337	24/10/2011	0.398	1.662	-0.677	10.722
17	P34	46009	25/10/2011	0.424	1.736	-0.595	10.737
18	B20	46345	04/02/2011	0.449	1.816	-0.517	10.744
19	P09	46417	04/07/2011	0.475	1.903	-0.441	10.745
20	P12	47403	28/09/2011	0.500	2.000	-0.367	10.766
21	P35	48751	12/12/2011	0.525	2.107	-0.294	10.794
22	P36	49646	26/12/2011	0.551	2.226	-0.223	10.813
23	B10	51622	23/08/2011	0.576	2.359	-0.153	10.852
24	B12	55494	27/12/2011	0.602	2.510	-0.083	10.924
25	B04	56301	19/10/2011	0.627	2.680	-0.014	10.938
26	P23	56301	21/10/2011	0.652	2.876	0.055	10.938
27	V03	58443	04/11/2011	0.678	3.102	0.124	10.976
28	V34	59821	20/10/2011	0.703	3.368	0.194	10.999
29	B19	60677	12/09/2011	0.728	3.682	0.265	11.013
30	V27	61264	21/09/2011	0.754	4.062	0.338	11.023
31	B32	63924	26/10/2011	0.779	4.529	0.412	11.065
32	P01	63924	26/10/2011	0.805	5.117	0.490	11.065
33	V15	65049	20/10/2011	0.830	5.881	0.572	11.083
34	V35	66835	26/12/2011	0.855	6.912	0.659	11.110
35	B15	67527	23/12/2011	0.881	8.383	0.754	11.120
36	V09	68521	29/09/2011	0.906	10.649	0.861	11.135
37	V29	70921	09/12/2011	0.931	14.593	0.986	11.169
38	V11	82514	05/12/2011	0.957	23.176	1.145	11.321
39	B05	84621	30/12/2011	0.982	56.286	1.394	11.346

Se simboliza con “ $a$ ” la intercepción de la recta con el eje Y. En nuestro caso, la ecuación de la recta nos dice que  $a=-44.35$ .

La pendiente de la línea recta que pasa por la mayoría de los puntos en el gráfico de Weibull (figura 44) es también el factor de forma  $\beta$ . Esta  $\beta$  indica el tipo de *distribución de probabilidad*.

Un  $\beta < 1.0$  indicaría que las bombas tienen una tasa decreciente de falla. Este escenario es típico de la “mortalidad infantil” de un producto nuevo e indica que el producto está fallando durante su fase de asentamiento. Un  $\beta = 1.0$  indica una tasa *constante de falla*. Frecuentemente, los productos que sobreviven al periodo de asentamiento exhibirán una tasa constante de falla. Un  $\beta > 1.0$  indica un incremento en la tasa de fallas. Es típico de productos ya desgastados. Este último es el caso que se estudia en este informe puesto que  $\beta = 4.05$ . Las bombas tienen una vida útil muy corta debido al desgaste acelerado del retén de las mismas.

Otro parámetro de la estadística Weibull es la vida característica, simbolizada por  $\alpha$ , la cual es una medida de la dispersión de la distribución de datos. La fórmula es la siguiente:

$$\alpha = e^{\left(\frac{\beta}{a}\right)}$$

Reemplazando valores, tenemos que:

$$\alpha = e^{\left(\frac{4.05}{-44.35}\right)}$$

Lo cual produce como resultado  $\alpha=56157.92$  Kilómetros. Esto es igual a decir que  $\alpha$  es el número de ciclos al cual el 63.2% de la producción ha fallado independientemente del valor  $\beta$ . En nuestro caso esto quiere decir que en alrededor del 63.2% de los buses las bombas habrían durado como mínimo 56157.92 Kilómetros.

Esto aún no cumple con nuestra meta de indicar un kilometraje de falla con una confiabilidad del 95%. Para esto, es necesario recurrir a la fórmula de confiabilidad (en inglés “*Reliability*”) para una distribución Weibull.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta}$$

Donde  $x$  es el kilometraje recorrido por el bus hasta que falla la bomba. Como la meta es llegar a un  $R_{(t)} = 0.95$  (confiabilidad del 95) entonces reemplazamos valores en la ecuación de la confiabilidad y obtenemos:

$$0.95 = e^{-\left(\frac{x}{56157.92}\right)^{4.05}}$$

Resolviendo, se tiene que  $x=26971.65$ .

Redondearemos este valor a 27000 Km. Esto quiere que en el 95% de la flota las bombas fallarán antes de los 27000 Km. Con este valor se proyecta la logística

(compra y almacenamiento de bombas nuevas) para nuestra propuesta de plan de mantenimiento.

El operador indica que, en promedio, cada bus recorre 220 Kilómetros diarios en 10 horas efectivas. La ganancia bruta es de 2 dólares por kilómetro, en promedio. La operación de cambiar bomba de agua toma en promedio 1.2 horas. Por lo tanto, en cada operación de cambio de bomba realizada en el turno diurno, el operador pierde por lucro cesante 52.8 dólares o su equivalente 137.28 Nuevos Soles.

#### 4.3 Comparación de los dos escenarios propuestos

A continuación se presentan las comparaciones de los costos de ambos escenarios. Se considera que cada 27000 Kilómetros se tienen que comprar bombas para reemplazar todas las que estén instaladas en los motores. Todos los valores están expresados en Nuevos Soles (tipo de cambio 2.6 Nuevos Soles por Dólar americano) e incluyen el IGV.

**Tabla 7. Escenario con monitoreo del refrigerante.**

ITEM	DESCRIPCIÓN	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
		6600 Km.	13200 Km.	19800 Km.	26400 Km.	33000 Km.	39600 Km.	46200 Km.	52800 Km.	59400 Km.	66000 Km.	72600 Km.	79200 Km.
1	Técnico especialista	2250	2250	2250	2250	2250	2250	2250	2250	2250	2250	2250	2250
2	Refractómetro	517.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Tiras de prueba de aditivos	141.3	0	135.7	0	135.7	0	135.7	0	135.7	0	135.7	0
4	Tiras de prueba de Ph	47.3	47.3	47.3	47.3	47.3	47.3	47.3	47.3	47.3	47.3	47.3	47.3
5	Bomba Nueva (por 20 buses)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10640
6	Lucro cesante (por 20 buses)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
												<b>TOTAL</b>	<b>39584.8</b>

Tabla 8. Escenario sin monitoreo del refrigerante

ITEM	DESCRIPCIÓN	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		6600 Km.	13200 Km.	19800 Km.	26400 Km.	33000 Km.	39600 Km.	46200 Km.	52800 Km.	59400 Km.	66000 Km.	72600 Km.	79200 Km.
1	Técnico <i>especialista</i>	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
2	Bomba Nueva (por 20 buses)	0	0	0	10640	0	0	0	10640	0	0	0	10640
3	Lucro cesante (por 20 buses)	0	0	0	2745.6	0	0	0	2745.6	0	0	0	2745.6
												<b>TOTAL</b>	<b>58156.8</b>

De las tablas anteriores se deduce que el escenario uno (39584.8 Nuevos Soles) es más rentable que el escenario dos (58156.8 Nuevos Soles) en el plazo de un año para el operador de los buses.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Las conclusiones son las siguientes:

1. El origen de la falla de las bombas es de origen químico y no mecánico. Las bombas de agua fallaron por acumulación de depósitos de aditivos en la luz o separación del retén del eje pasante. El refrigerante contenía excesos de aditivos. Cuando el refrigerante se evaporaba al salir por la luz del retén (parte del diseño de las bombas) los sólidos en exceso se iban depositando en la luz del retén. Cuando el espesor de los depósitos superó al espesor necesario de la película lubricante, empezó la fuga excesiva de refrigerante por el retén.
2. Según el manual del motor, el fabricante garantiza que el motor estará libre de fallas al menos por 2 años, sin importar el kilometraje. Las bombas fallaron mucho antes de ese plazo. Puesto que el filtro WF2074 es el causante de la falla y fue instalado en el motor por el fabricante, este tipo de fallas están cubiertas por la garantía.
3. La falla fue detectada en etapas avanzadas, cuando ya se había desarrollado lo suficiente como para inhabilitar las bombas de agua. La detección solamente fue posible utilizando herramientas, técnicas y manuales de mantenimiento. Es decir, se realizó un mantenimiento correctivo.



4. Dado que los aditivos en el refrigerante irán desapareciendo progresivamente debido al trabajo del motor, es necesario reponerlos progresivamente también. Ha quedado demostrado que un incremento grande y súbito en la concentración de aditivos no es lo indicado.

Las recomendaciones son las siguientes:

1. Se recomienda capacitar a los involucrados en el mantenimiento del motor para actualizar o reforzar sus conocimientos en temas concernientes a los fluidos del motor y su mantenimiento.
2. Monitorear la condición del refrigerante en todos los buses de la flota en los que se sepa que está instalado el filtro de agua WF2074, aun cuando no presenten problemas por fuga de refrigerante. En los casos en donde se halle niveles excesivos de aditivos, programar una parada del bus en el taller para comprobar el estado de la bomba.
3. Se recomienda que debe analizarse la condición del refrigerante cada 500 horas de funcionamiento del motor, cuando sea excesiva la pérdida de refrigerante, cuando se sepa que la concentración de aditivos de refrigerante está por encima del límite superior de 0.8 unidades por litro o al menos 2 veces por año. Si la concentración es superior a 0,8 unidades por litro, ya no se debe añadir más aditivos hasta que los mismos descendan debido a desgaste natural producto del trabajo del motor. La concentración de aditivos debe probarse a cada intervalo

de cambio de aceite hasta que disminuya por debajo de 0,8 unidades por litro. Si la concentración esta entre 0,4 y 0,8 unidades por litro, añade la cantidad normal de aditivos especificada en la Tabla de Servicio (Tabla 3). La concentración está dentro de los límites normales. Si la concentración es inferior a 0.3 unidades por litro entonces añade la cantidad normal de aditivos especificada en la Tabla de Servicio(Tabla 3)y la cantidad indicada en la Tabla de Precarga (Tabla 4). Esta acción de precarga elevará la concentración a un nivel aceptable.

4. Se recomienda reemplazar los filtros WF7024 (con 12 pastillas solubles conteniendo aditivo DCA4) por un filtro sin aditivos para disminuir más rápido el nivel excesivo de aditivos. Una buena opción sería el filtro modelo WF2077 el cual también está disponible en el catálogo del fabricante del filtro anterior.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. *Apuntes del curso “Motores de combustión interna”*: agosto-noviembre 2008. Facultad de Ingeniería Mecánica – Universidad Nacional de Ingeniería. Lima-Perú.
2. *Mechanical shaft seal for pumps. (Sellos mecánicos para ejes de bombas)*. Grundfos Inc. Dinamarca, 2009.
3. *EthyleneGlycol. Product Guide. (Etilenglicol: Guía del producto)*. MEGlobal Inc. Emiratos Árabes Unidos, 2008.
4. *Boletín TécnicoLI33021-ES*:CumminsFiltration Inc.Estados Unidos, 2007.
5. *Boletín TécnicoLT33020-ES*:CumminsFiltration Inc. Bélgica, 2009.
6. *Boletín TécnicoLT3300962A*:CumminsFiltration Inc.Estados Unidos, 2009
7. *Troubleshooting and Repair Manual-C8.3engines (Manual de diagnóstico y reparación de motores modelo C8.3)*. Cummins Inc.Estados Unidos, 2004
8. ARIAS-PAZ, Manuel. *“Manual de automóviles”*. Editorial Dossat 2000. España, 2006.
9. BENETT, Sean. *Modern Diesel Technology: Diesel Engines (Tecnología diesel moderna: motores diesel)*. Editorial Delmar. Canadá, 2010.
10. *Natural gas in the transportation sector (Gas natural en el sector del transporte)*.Natural Gas Organization. Estados Unidos. Documento disponible en internet.

<[http://www.naturalgas.org/overview/uses\\_transportation.asp](http://www.naturalgas.org/overview/uses_transportation.asp)> referencia del 27 de septiembre del 2012.

*11. Preventing Water Pump Leaks and Problems (Previniendo problemas y fugas de refrigerante por la bomba de agua).* AGCO Automotive Corporation. Estados Unidos. Documento disponible en internet. <[http://www.agcoauto.com/content/news/p2\\_articleid/190](http://www.agcoauto.com/content/news/p2_articleid/190)>del 27 de septiembre del 2012.

*12. Water pump failures and causes (Fallas de bombas de agua y sus causas).* ASC Industries. Estados Unidos. Documento disponible en internet. <<http://asc-ind.com/es/technical-assistance/technical-resources/helpful-articles-tips/water-pump-failures-and-causes/>> del 27 de septiembre del 2012.

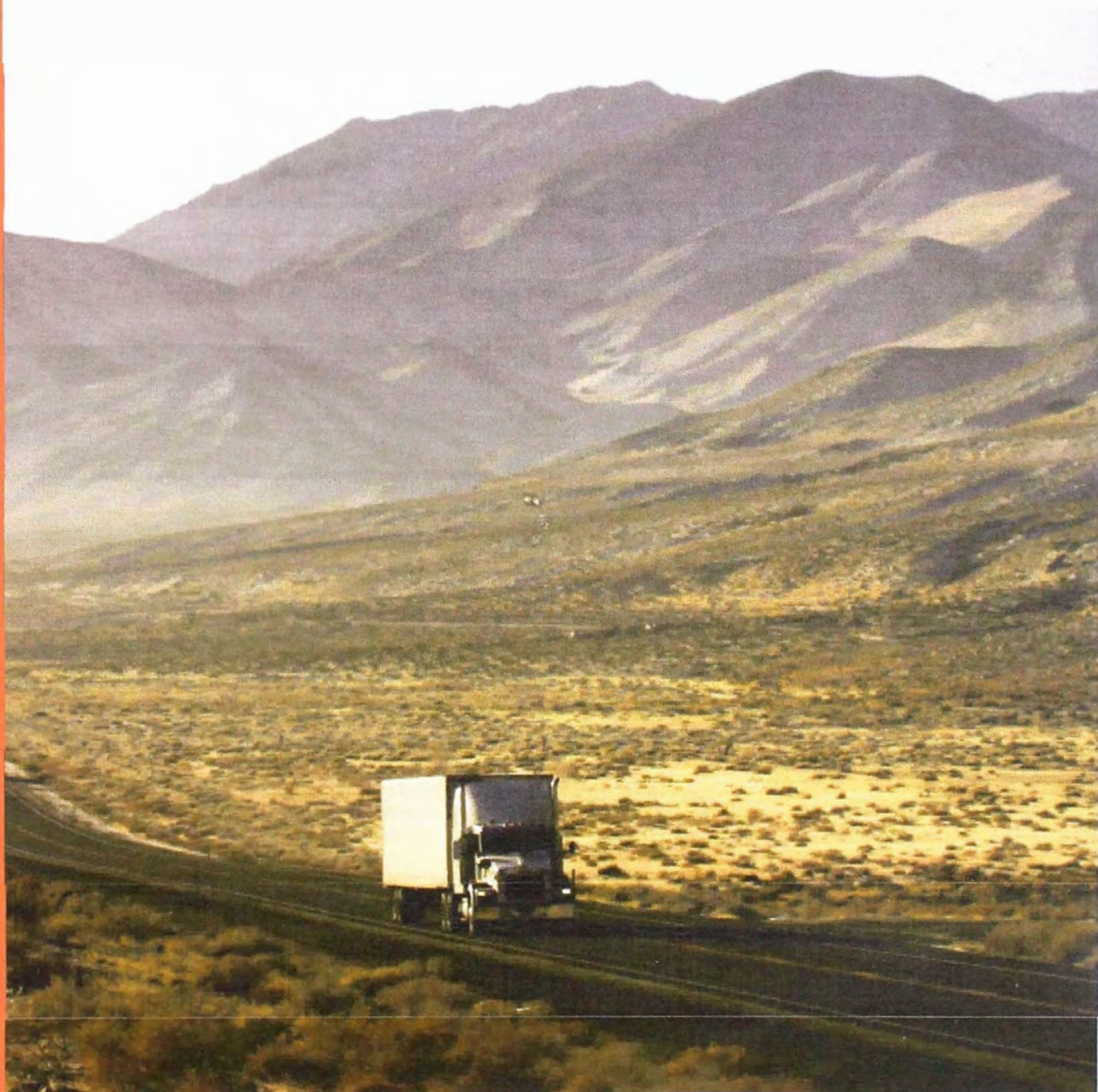
## **APÉNDICE**

# Fleetguard<sup>®</sup>



## La refrigeración es vital

Los Productos Fleetguard protegen y mantienen el Sistema de Enfriamiento para los Motores de Trabajo Pesado



COOLANT

# La refrigeración es vital ...

Si no se refrigera adecuadamente, la temperatura de un motor diesel para trabajo pesado puede llegar a 2,000 °C, suficiente para fundir el motor fácilmente.

Es necesario disipar el calor para que el motor pueda funcionar a su máximo rendimiento.

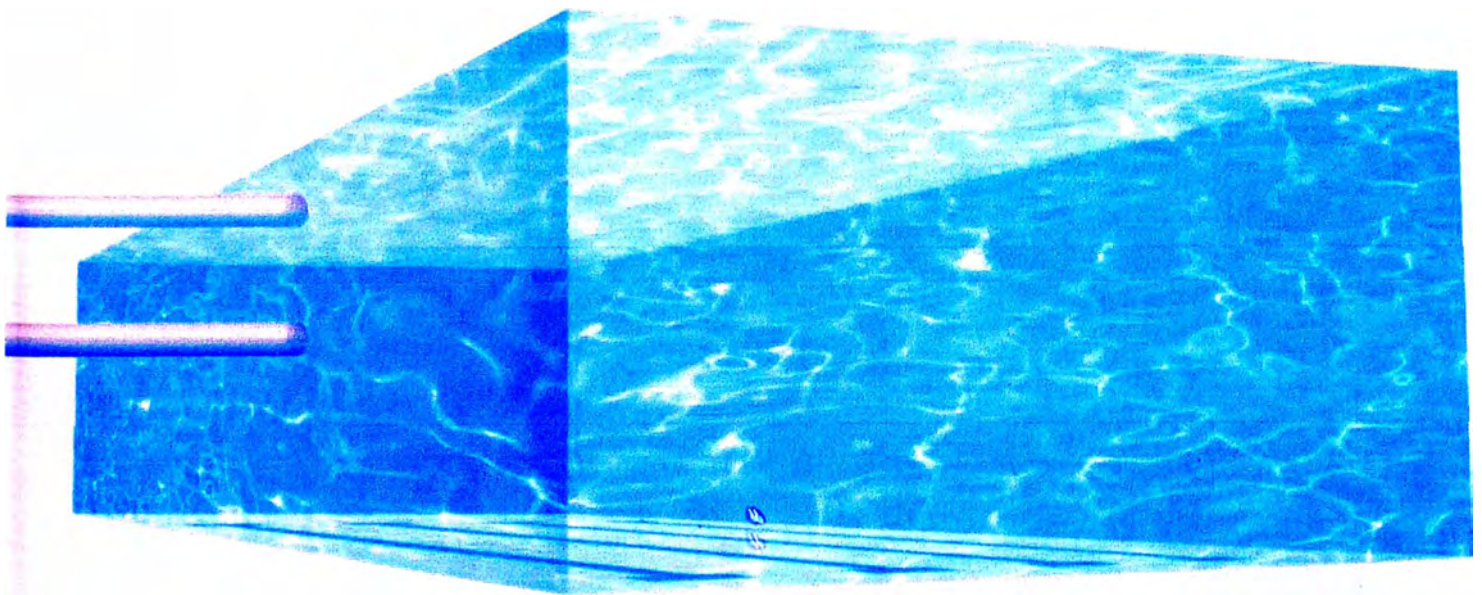
De hecho, sólo una tercera parte de esos 2.000 °C se convertirá en energía mecánica.

Este exceso de producción de calor es una razón clara del porqué un correcto mantenimiento del refrigerante es la clave para reducir costos de operación, minimizar tiempos de parada del motor y asegurar un mejor rendimiento y durabilidad para los motores y sistemas de enfriamiento.



# ... para mantener el equipo en movimiento

Todos los propietarios de flotas de transporte conocen la importancia de mantener los intervalos regulares de mantenimiento de un motor. Sin embargo, durante estas operaciones de mantenimiento se presta especial atención principalmente a la filtración del aire, lubricante y combustible. Con frecuencia, el mantenimiento regular y apropiado del sistema de enfriamiento de un motor se considera de una importancia menor. Esto puede tratarse de un error por el que se va a pagar un precio muy alto. Las investigaciones han demostrado que el 40% de los problemas de los motores diesel para trabajos pesados están relacionados, directa o indirectamente, con el mantenimiento del sistema de enfriamiento. Esta cifra es una clara indicación de la importancia del mantenimiento del sistema de enfriamiento.



***Durante un periodo de 24 horas, alrededor de 720,000 litros de líquido refrigerante en promedio circulan a través del motor para trabajo pesado. Es una cantidad suficiente para llenar una enorme piscina.***



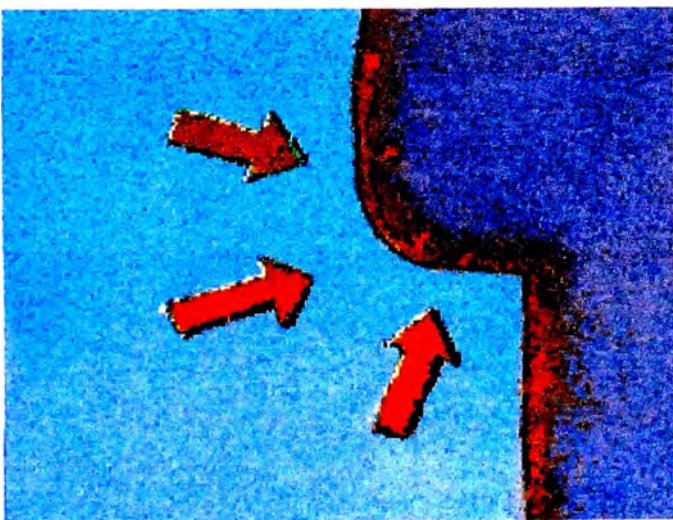
# Corrosión del aluminio

La corrosión no tiene ninguna relación con la edad

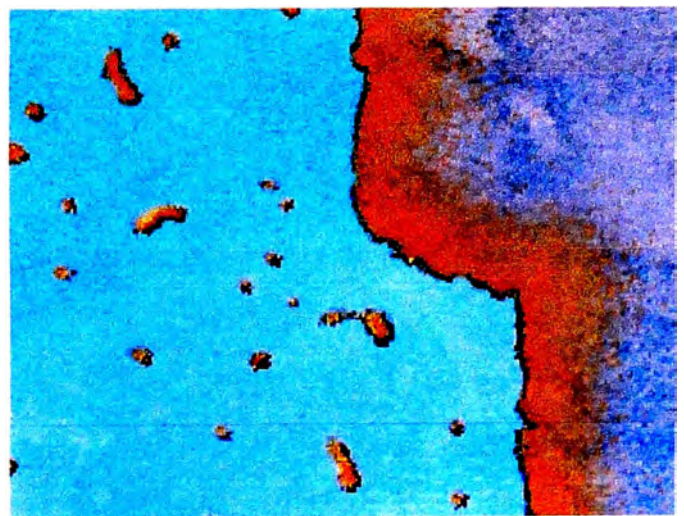
Cada día aumenta el número de fabricantes que utilizan aluminio para reducir el peso de los sistemas de enfriamiento. Pero hay que pagar el precio por la reducción de peso, porque el aluminio es el material más sensible del sistema y su corrosión el mayor problema.

Muchas personas no lo saben, pero la corrosión no es una consecuencia de la edad; puede comenzar a atacar un motor sólo después de 2,000 horas o 400,000 Km. de funcionamiento.

- El oxígeno en el sistema de enfriamiento reacciona con las piezas metálicas
- Dentro del motor, oxidación = óxido
- Bombas de agua, radiadores, termostatos y colectores son afectados
- Radiadores se bloquean
- El motor sobrecalentado = gastos de reparación, tiempo de parada
- Aparecen fugas



La corrosión afecta a todas las partes metálicas, especialmente las de aluminio.



Comienzan a circular pequeñas partículas metálicas en el sistema de enfriamiento produciendo daños en cualquier parte mecánica.

**“Algunas empresas probablemente saben mucho en relación con los componentes químicos, mientras otras tienen amplios conocimientos acerca de motores. Fleetguard domina ambas competencias.”**

Cummins Filtration ha desarrollado aditivos refrigerantes que contienen diferentes inhibidores que crean una capa de protección en todas las piezas metálicas del sistema de enfriamiento. La principal ventaja de Fleetguard es la combinación de la investigación química y la estrecha colaboración con su empresa matriz, un importante fabricante de motores diesel: Cummins.

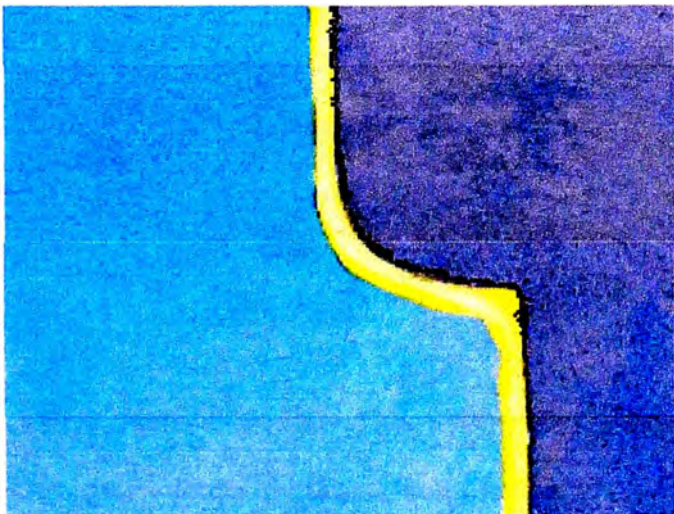
Si se utiliza el líquido DCA\* o ES (larga duración) adecuado desde el inicio de la vida de un motor, se puede evitar la oxidación.

Si se comienza a utilizar un DCA más adelante, al menos se podrá para la corrosión y evitar que la situación empeore.

\*DCA = Aditivo Químico Diesel



**“Utilizamos el DCA4 de Fleetguard para todos los sistemas de enfriamiento de los motores a los que realizamos el mantenimiento y no hemos tenido averías debidas al sistema de enfriamiento desde hace 5 años. ¡El DCA es una gran inversión!”**



**La capa protectora creada por el DCA de Fleetguard evita la corrosión del aluminio.**

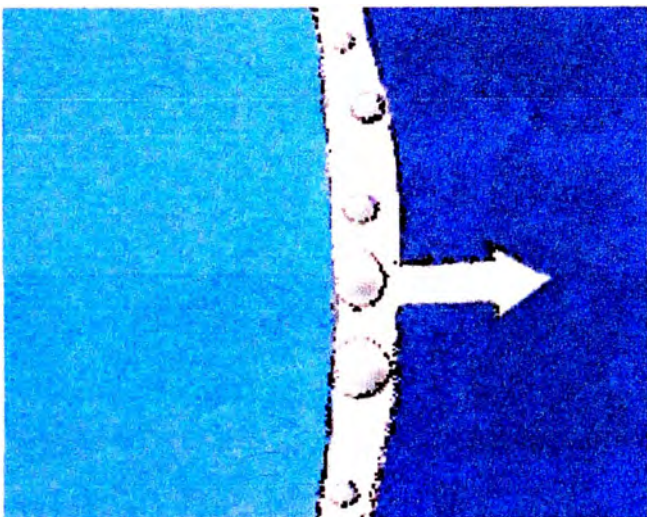
# Cavitación o picaduras en camisas

No se pueden cambiar las leyes de la física, pero Cummins Filtration puede neutralizar las consecuencias

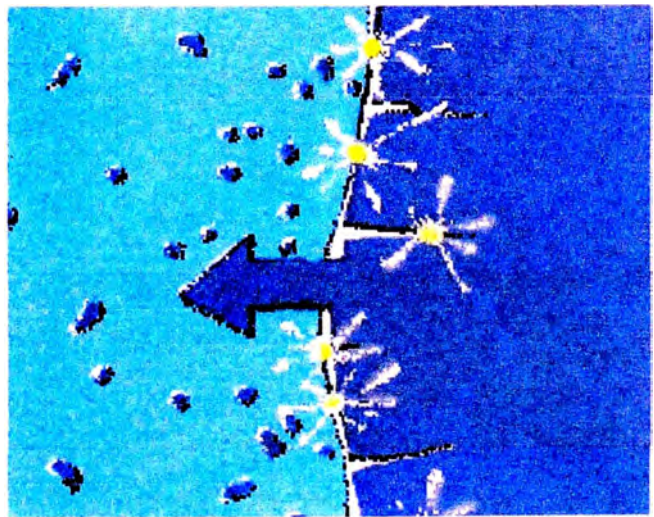
Los pistones de un motor suben y bajan aproximadamente 2,000 veces por minuto. Al tiempo que se mueven verticalmente, el eje cigüeñal realiza un movimiento completamente diferente, girando horizontalmente. Estos movimientos contradictorios provocan muchas vibraciones en las camisas del motor.

Aunque la pared exterior de la camisa está rodeada por líquido refrigerante, su inercia crea pequeños huecos de vacío que producen burbujas de vapor en la pared de la camisa.

Cuando la camisa vibra hacia atrás, estas burbujas implosionan bajo una enorme presión de 1,000 bars o 15,000 psi y desprenden pequeños fragmentos de la camisa.



**La superficie de la camisa se deforma durante la vibración; la combinación con la inercia del refrigerante se crean vacíos y la formación de pequeñas burbujas de vapor.**



**Mientras la vibración sigue, la camisa vuelve a golpear, lo que provoca la implosión de las burbujas. Al producirse este proceso miles de veces por segundo, se desprenden pequeños fragmentos de la camisa.**

## **Cummins Filtration no puede detener la vibración de las camisas del motor ...**

... o cambiar la inercia del líquido refrigerante, pero puede neutralizar el efecto perjudicial sobre su motor creando una capa protectora en la pared de la camisa.

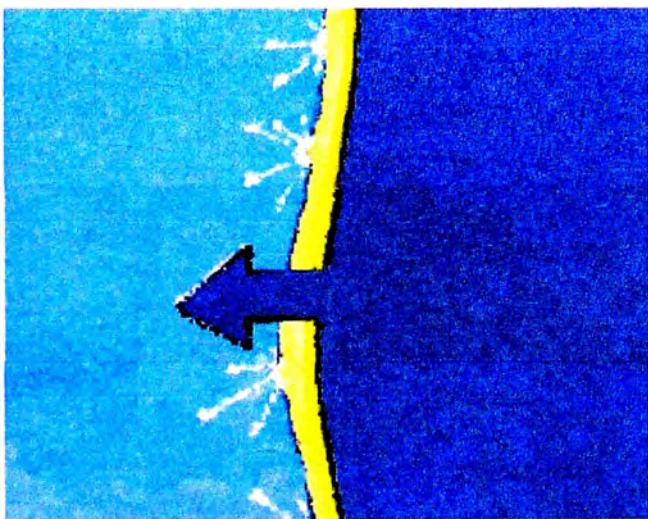
La implosión seguirá produciéndose, pero contra la capa protectora y no se dañará la pared de la camisa.

Otra ventaja del DCA de Fleetguard es que cualquier daño sobre la capa de DCA de la superficie de la camisa es inmediatamente reparado por su efecto regenerador.

Para mantener la efectividad de estas capas protectoras, hace falta añadir DCA con frecuencia durante el mantenimiento.



**“Hemos visto demasiadas camisas que parecían la superficie de la luna, por ello tenemos muy clara la razón por la que usamos DCA4.”**



**El DCA de Fleetguard neutraliza los efectos dañinos sobre el motor creando una capa protectora en la pared de la camisa: las implosiones se producen sobre esta capa y no sobre la superficie de la camisa.**

# Depósitos calcáreos

Ablandamos la dureza del agua en el líquido refrigerante

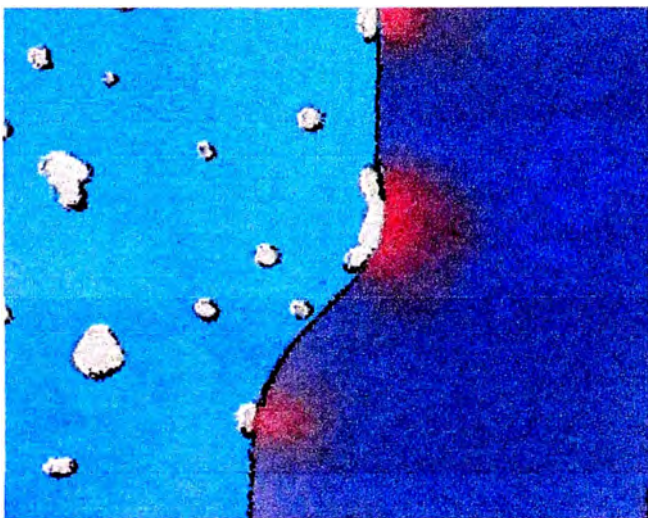
El refrigerante consiste en un 48% de agua de buena calidad, 48% de glicol y un 4% de aditivos refrigerantes suplementarios. El agua corriente siempre es ligeramente calcárea debido a minerales como el calcio, el magnesio, etc.

El efecto negativo de la cal en el agua se produce en los puntos más calientes del motor, tal y como se produce al hacer hervir agua en un recipiente. Estos puntos calientes son las camisas y las culatas.

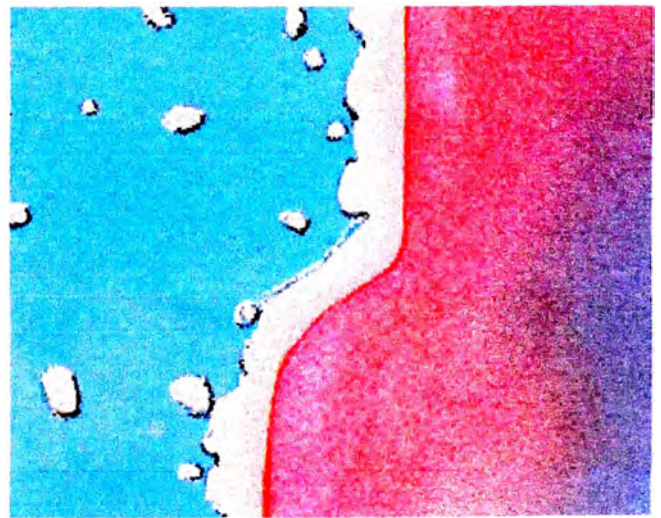
Cuando se sabe que 1 mm de cal tiene el mismo efecto aislante que 75 mm de hierro fundido, es evidente que los depósitos de cal son una barrera importante, y que el calor no se puede disipar con facilidad en la cámara de combustión del motor.

Los resultados son: anillos de pistón desgastados, un consumo de aceite más elevado y en el peor de los casos, avería total del motor.

El DCA de Fleetguard contiene un polímero inteligente que 'envuelve' las partículas de cal para que no puedan adherirse a las paredes de la camisa.



**Cuando el motor está en funcionamiento, el calor produce la formación de cal sobre las superficies calientes.**



**La capa de cal actúa como aislante, evitando que el líquido refrigerante absorba el calor del motor.**

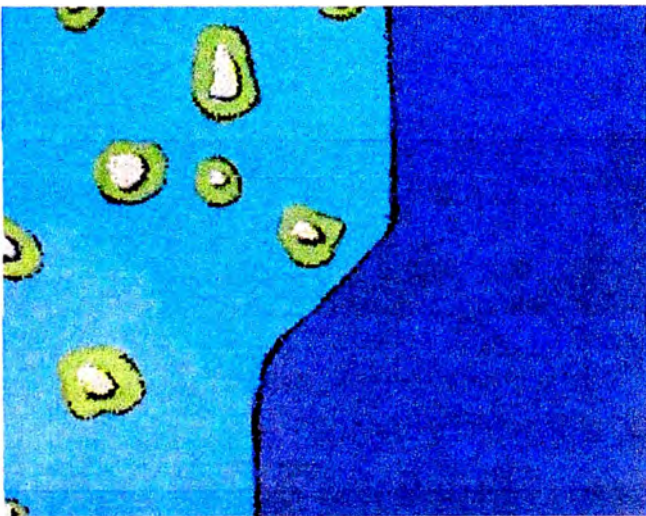
# Acidez

Nos aseguramos que la acidez no le sea un problema

La corrosión en un motor se produce generalmente cuando el pH del líquido refrigerante es inferior a 7. El líquido refrigerante se vuelve ácido debido a la degradación del anticongelante y los sulfatos que entran en el sistema de enfriamiento. Esto produce una corrosión general de las camisas, monoblock del motor y culatas, conductos de agua y mangueras. Un pH muy alto también es negativo, ya que se pueden dañar las juntas y los componentes de metales más blandos.

Por lo tanto, el pH ideal de un sistema de refrigeración debe de mantenerse siempre entre 8 y 10. Para lograrlo, el líquido refrigerante debe contener agentes químicos que neutralicen la formación de ácidos o álcalis.

Los amortiguadores o buffers en los productos para el sistema de enfriamiento de Fleetguard incluyen borato en el DCA2 y fosfato en el DCA4 asegurando que el fluido de su sistema de enfriamiento mantenga la acidez apropiada.



**El DCA de Fleetguard contiene un polímero inteligente que 'envuelve' las partículas de cal para que no puedan adherirse a la pared de la camisa.**

# Al sistema de enfriamiento le pueden ocurrir muchas cosas ...

Para reducir los costos operativos y tiempos de parada por avería del motor, un correcto mantenimiento del sistema de enfriamiento del motor es esencial. Porque cada persona tiene sus propias preferencias en el mantenimiento del sistema de enfriamiento, Cummins Filtration ofrece opciones en los componentes químicos y los filtros para agua.

Los Aditivos Refrigerantes Suplementarios (SCA) de Fleetguard cumplen las normas ISO y están totalmente homologados por los principales fabricantes de motores, tales como:

- Cummins®
  - Caterpillar®
  - DAF®
  - Scania®
  - M.A.N.®
  - Komatsu®
  - Liebherr®
- y otros

Los refrigerantes de formulación completa como el ES Compleat EG eliminan la necesidad de precarga de SCA (aditivos refrigerantes suplementarios) y proporcionan las mejores condiciones para un correcto mantenimiento del sistema de enfriamiento. Han sido diseñados para durar hasta la reconstrucción del motor. También cumplen con las recomendaciones ASTM de bajo contenido de silicatos y son de uso universal en motores diesel para trabajo pesado y automotriz. El Aditivo Refrigerante DCA 2 de Fleetguard y su refrigerante preparado, Fleetcool, protegen motores diesel desde 1972. El DCA2 utiliza nitritos para la protección contra la cavitación y tiene un sistema neutralizante a base de borato.

\*ES = Servicio Extendido



**Filtración mecánica**



**Anticongelante de formulación completa**



**Aditivos para refrigerante**

# ... pero Cummins Filtration tiene incluso más productos que pueden solucionar los problemas.

El DCA 4 y su refrigerante de formulación completa equivalente, Compleat EG, se utilizaron por primera vez en 1984 en todos los motores diesel Cummins y siguen utilizándose en la actualidad. El DCA4 es menos tóxico que los productos químicos a base de nitrito y borato y proporciona mayor protección contra la corrosión del aluminio y las soldaduras, la cavitación de camisas y es más tolerante en caso de baja o excesiva dosificación. En el entorno competitivo actual, extender la duración de la vida de un líquido de refrigeración es esencial para la reducción de los costos de mantenimiento en las flotas. Para poder cumplir con esas nuevas exigencias, Fleetguard ha lanzado un producto de servicio extendido, ES Compleat.

Para su utilización en los programas de protección y vida extendida, basta rellenar el sistema de enfriamiento con ES Compleat y una vez al año (cada 250,000 Km o 4,000 horas de funcionamiento) completar el sistema con ES Slow Release Filters (Filtros ES de descarga lenta) o con ES Liquid Booster (Aditivo Líquido ES). Para su utilización en programas estándar de mantenimiento, utilice solamente ES Compleat combinado con el DCA4 arriba mencionado.

Además de los aditivos, refrigerantes y limpiadores, Fleetguard ofrece una amplia gama de filtros para agua. Varios estudios han demostrado que existe un efecto beneficioso en la relación entre la filtración de contaminantes del refrigerante y la reducción del desgaste, corrosión, picaduras y saturación.

Uno de los estudios más importantes comparó 11.000 camiones, la mitad de los cuales utilizaba filtros para agua, y la otra mitad no lo hacía. Las averías en los camiones con filtro para agua se reducían en dos terceras partes debido a las fugas en las juntas de la bomba de agua de los camiones sin filtro.

Estos datos también indican que existe una estrecha relación entre la filtración y una reducción en la formación de depósitos, que ayuda a que el motor mantenga una transferencia de calor efectiva para un rendimiento óptimo.



**Productos para Pruebas de Refrigerante**



**Limpiadores del Sistema de Enfriamiento**



**Productos para Servicio Extendido**





Si usted desea conocer mas acerca del refrigerante y la tecnología de otros productos Fleetguard, por favor contacte a su Distribuidor o Asistencia al Cliente de Cummins Filtration.

Su Distribuidor local



Para más información, visite [cumminsfiltration.com](http://cumminsfiltration.com)

IT33020ES  
 ©2009 Cummins Filtration  
 Impreso en Bélgica

## INSTRUCCIONES PARA EL MANTENIMIENTO DEL REFRIGERANTE Y ADITIVO SUPLEMENTARIO.

Se ha ampliado el número de recomendaciones relativas al aditivo de refrigerante DCA4 y por lo tanto, las contenidas en este documento invalidan todas las anteriores.

Deberá utilizarse una mezcla de 50% de anticongelante y 50% de agua, porque los nuevos niveles de concentración de DCA4 dependen de la presencia de anticongelante. El anticongelante reacciona con el DCA4 para proporcionar una mayor protección contra la corrosión y la cavitación. La dosis de DCA4 debe aumentarse a una concentración mayor si el motor no usa anticongelante. Existe un boletín de información de servicio para los países en los que no se dispone de anticongelante.

### ORIENTACIONES SOBRE LA PRECARGA Y ADICIÓN DE REFRIGERANTE

El 'Refrigerante de Gran Rendimiento' se define como una mezcla de 50% de anticongelante y 50% de agua precargada con 0,4 unidades por litro de DCA4. Utilice la Tabla de Precarga para determinar cuánto DCA4 debe añadirse para hacer una mezcla de Refrigerante de Gran Rendimiento o añada 1 litro de DCA4 (10 unidades) por cada 25 litros de refrigerante. Estos dos métodos dan por resultado un nivel de concentración mínimo de 0,4 unidades por litro. Además, deberá incorporar un filtro de servicio (elegido de entre la Tabla de Servicio) para estar seguro de que existe una concentración mínima inicial de 0,5 unidades por litro.

Todo refrigerante que se añada al motor deberá ser de gran rendimiento para mantener el equilibrio correcto de anticongelante, agua y DCA4. No añada nunca refrigerante que no esté precargado con DCA4. El sistema de refrigeración debe de ser precargado con Refrigerante de Gran Rendimiento cuando se llene un motor nuevo de refrigerante o cuando se cambie el refrigerante. Debe usarse también Refrigerante de Gran Rendimiento para sustituir cualquier

refrigerante que se pierda por fugas, reparaciones o por rebosamiento. La mayor parte de los problemas de cavitación están motivados por la adición de refrigerante no tratado, que diluye rápidamente la concentración de DCA4 resultando en una menor protección para las camisas.

### ORIENTACIONES DE SERVICIO

El filtro del refrigerante de servicio debe sustituirse a cada cambio de aceite. La cantidad de DCA4 recomendada en la Tabla de Servicio hará que aumente la concentración a lo largo del tiempo, pero esta mayor concentración es deseable y normal. Sustituya cualquier pérdida de refrigerante de Gran Rendimiento.

La Tabla de Precarga determina la cantidad de DCA4 que hay que añadir al agua y anticongelante para proporcionar un mínimo de 0,4 unidades por litro de concentración de Refrigerante de Gran Rendimiento. La Tabla de Servicio determina la cantidad de DCA4 que debe añadirse a cada cambio de aceite.

### KIT DE ANALISIS

El kit de análisis Fleetguard CC2626M es el que actualmente se utiliza para medir el nivel de concentración de DCA4 e incluye una nueva tabla de colores de referencia en sistema métrico para realizar la prueba. La designación 'M', identifica este kit como la versión en sistema métrico. Debe utilizarse el juego de prueba:

- \* Cuando sea excesiva la pérdida de refrigerante.
- \* Dos veces al año, por lo menos, y más si se desea.
- \* Cuando se sepa que la concentración de refrigerante está por encima del límite superior de 0,8 unidades por litro. Pruebe a cada subsiguiente cambio de aceite hasta que disminuya el nivel de concentración por debajo del límite superior.

Si la concentración: es superior a 0,8 unidades por litro

No sustituya el filtro DCA4 ni añada líquido DCA4 hasta que la concentración descienda por debajo de 0,8 unidades por litro. La concentración debe probarse a cada intervalo de mantenimiento posterior (cambio de aceite) hasta que disminuya por debajo de 0,8 unidades por litro.

Si la concentración: esta entre 0,3 y 0,8 unidades por litro

Añada la cantidad normal de DCA4 especificada en la Tabla de Servicio. La concentración está dentro de los límites normales.

Si la concentración: es inferior a 0,3 unidades por litro

Añada la cantidad normal de DCA4 especificada en la Tabla de Servicio y la cantidad indicada en la Tabla de Precarga. Esta acción de precarga elevará la concentración a un nivel aceptable.

### *Importante:*

*No use el juego de prueba para omitir o ampliar los intervalos de mantenimiento a menos que el nivel de concentración sea superior a 0,8 unidades por litro. Añada DCA4 al sistema de refrigeración como parte del procedimiento de mantenimiento regular. El Juego de Prueba CC2626M sirve igual para el DCA2 y el DCA4 ya que los límites de concentración de DCA2 y DCA4 son los mismos. El DCA2 y el DCA4 se pueden mezclar, pero es preferible utilizar un solo tipo de producto químico. Los envases de tiras de prueba, están marcados con la fecha de caducidad y los de plástico, deben estar perfectamente cerrados para proteger estas tiras que son sensibles a la humedad. Deseche las tiras si existe alguna duda sobre el estado o caducidad de las mismas.*

## Tabla de precarga - usando anticongelante

Cambie el filtro de servicio y añada la cantidad de DCA4 indicada en esta tabla

Sistema de refrigeración capacidad (litros)	Cantidad de DCA 4 necesaria	
	unidades	litros
19-28	10	1.0
29-43	15	1.4
44-58	20	1.9
59-77	25	2.4
78-115	40	3.8
116-191	60	5.7
192-285	90	8.5
286-380	120	11.4
381-569	180	17.0

## Tabla de servicio (capacidad media - ej. camiones)

Añada el número de unidades DCA4 indicado en esta tabla

Sistema de refrigeración capacidad (litros)	Kilómetros 1 horas	8,000	16,000	24,000	32,000	40,000
		unidades	unidades	unidades	unidades	unidades
1-19		2	2	2	2	2
20-39		2	2	4	4	4
40-58		2	4	4	6	8
59-77		2	4	6	8	12

## Tabla de servicio

La cantidad de DCA4 a añadir se especifica en unidades y en litros

Sistema de refrigeración capacidad (litros)	250 l horas		500 l horas	
	unidades	litros	unidades	litros
78-115	10	1.0	15	1.4
116-190	15	1.4	25	2.4
191-285	20	1.9	40	3.8
286-379	25	2.4	50	4.7
380-569	40	3.8	75	7.1

## Filtros DCA4

Referencia	Unidades
WF 2070	2
WF 2071	4
WF 2072	6
WF 2073	8
WF 2074	12
WF 2075	15
WF 2076	23

## Líquido DCA4

Referencia	Unidades	Litros
DCA 60L	5	0.5
DCA 65L	20	1.9
DCA 70L	40	3.8
DCA 75L	200	18.9
DCA 80L	2200	208

*Nota:* Para garantizar la correcta precarga y el mantenimiento de un sistema de refrigeración, usted puede instalar un filtro adecuado o la cantidad necesaria de DCA4 líquido.

Para grandes sistemas de refrigeración, se recomienda la combinación de filtro(s) más el líquido DCA 4.

Si desea información más detallada acerca de nuestros líquidos de refrigeración o cualquier producto de la tecnología Fleetguard, le rogamos se ponga en contacto con su distribuidor Fleetguard o nuestro Servicio Clientes:

para España y Portugal:

Tel: 33 298 76 49 30

Fax: 33 298 76 48 48

[www.cumminsfiltration.com](http://www.cumminsfiltration.com)



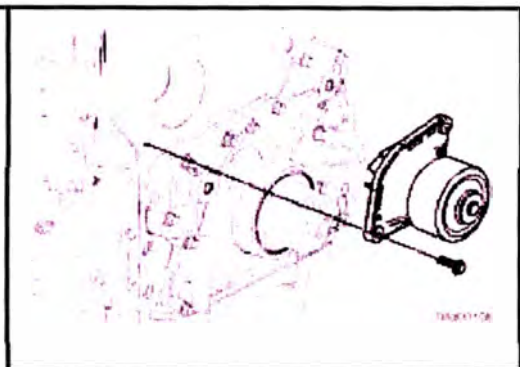
**Filtration**

## 008-062 Bomba del Agua

### Información General

La bomba del agua es una bomba tipo centrífuga impulsada por banda, con la entrada y derivación como partes integrales del block de cilindros.

**NOTA:** No es práctico reemplazar los componentes de la bomba del agua; a la bomba del agua se le da servicio como un ensamble.



### Pasos Preparatorios



#### ADVERTENCIA



Las baterías pueden emitir gases explosivos. Para reducir la posibilidad de lesión personal, ventile siempre el compartimiento antes de dar servicio a las baterías. Para reducir la posibilidad de arco eléctrico, quite primero el cable negativo (-) de la batería y



conecte el cable negativo (-) de la batería al último.

- Desconecte las baterías.



## ADVERTENCIA



El refrigerante es tóxico. Manténgalo lejos de los niños y de los animales domésticos. Si no se va a reutilizar, deséchelo de conformidad con las regulaciones ambientales locales.



## ADVERTENCIA



No quite el tapón de presión de un motor caliente. Espere hasta que la temperatura del refrigerante esté por debajo de 50°C [120°F] antes de quitar el tapón de presión. El rocío o el vapor del refrigerante caliente pueden causar lesión personal.

- Drene el refrigerante. Consulte [Procedimiento 008-018](#).
- Quite la banda impulsora. Consulte [Procedimiento 008-002](#).



U-20098

## Revisión Inicial

Inspeccione la carcasa de la bomba del agua por grietas y/o daño.

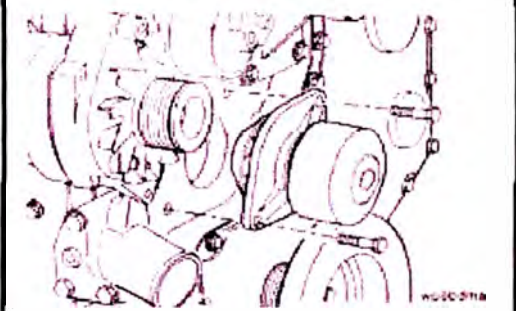
Inspeccione el orificio de derrame de la bomba del agua por una indicación de una fuga constante.

**NOTA:** Una traza o acumulación química en el orificio de derrame no es justificación para reemplazo de la bomba del agua. Si se observa un flujo constante de refrigerante, reemplace la bomba del agua con una unidad nueva o reconstruida.



## Desmontar

Quite los dos tornillos de montaje, bomba del agua y sello.



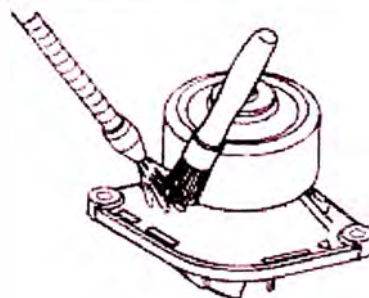
## Limpiar e Inspeccionar para Reutilizar



**ADVERTENCIA**



Cuando use solventes, ácidos, o materiales alcalinos para limpieza,



siga las recomendaciones del fabricante para su uso. Use gafas y ropa protectora para reducir la posibilidad de lesión personal.

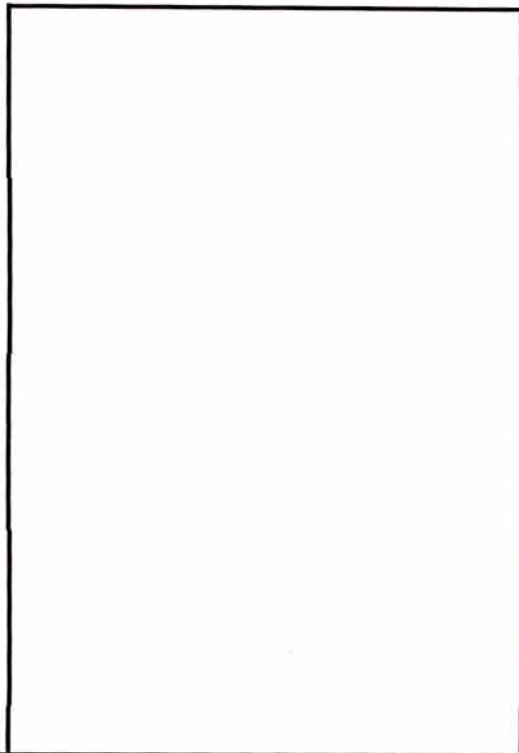


## ADVERTENCIA

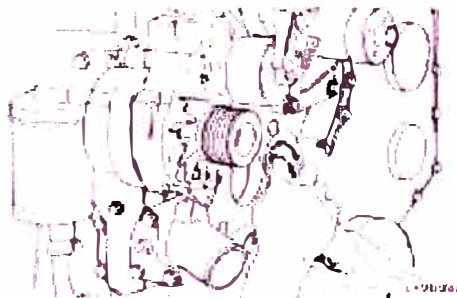


Use gafas protectoras y una careta protectora, cuando use aire comprimido. Los desechos y suciedad volando pueden causar lesión personal.

Limpie la bomba del agua con solvente. Seque con aire comprimido.



Limpie la superficie sellante en el block de cilindros.

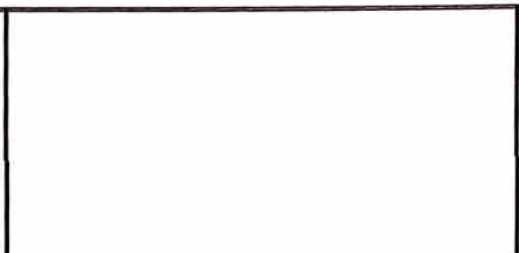


Limpie la superficie sellante para arosello en la carcasa de la bomba del agua.

Inspeccione la superficie sellante por daño. Reemplace la bomba del agua si encuentra cualquier daño.



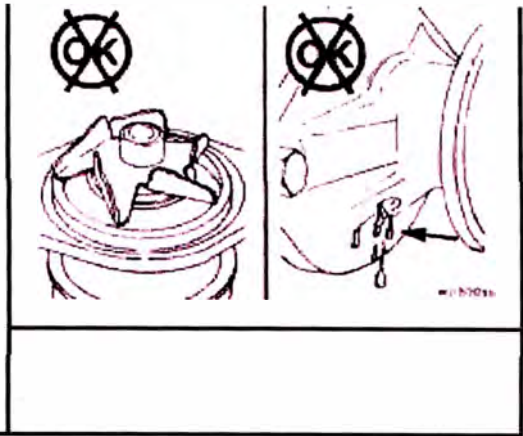
Inspeccione el impulsor por grietas, álabes faltantes, patinamiento sobre el eje, y otros tipos de daño.



**NOTA:** Si encuentra cualquier daño en los álabes del impulsor, asegúrese de inspeccionar el block de cilindros por daño.

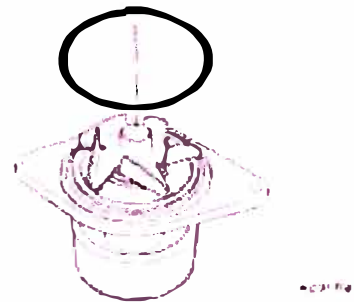
Inspeccione la carcasa de la bomba del agua por daño y grietas.

Reemplace la bomba del agua si encuentra cualquier daño.



## Instalar

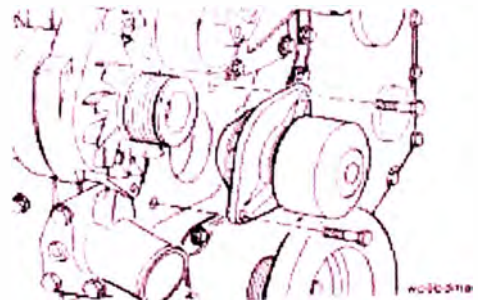
Instale el nuevo anillo de sello en la ranura de la bomba.



Instale la bomba del agua (con sello) y los tornillos de montaje.

Grado 9.8            24 n.m    [18 ft-lb]

Grado 10.9        30 n.m    [22 ft-lb]





# Pasos de Terminación

- Instale la banda impulsora. Consultar [Procedimiento 008-002](#)
- Llene el sistema de enfriamiento. Consultar [Procedimiento 008-018](#).



4300094



## ADVERTENCIA



Las baterías pueden emitir gases explosivos. Para reducir la posibilidad de lesión personal, ventile siempre el compartimiento antes de dar servicio a las baterías. Para reducir la posibilidad de arco eléctrico, quite primero el cable negativo (-) de la batería y conecte el cable negativo (-) de la batería al último.

- Conecte las baterías.
- Opere el motor y revise por fugas.



4300094

Ultima Modificación: 31-MARZO-2006