

## Investigación de Causa-Raíz – La reparación del motor

Por Richard Widman

*Es muy frustrante para una empresa constructora cuando tiene que reparar un motor y cambiar inyectores de equipo pesado a los dos años de servicio. El problema es peor porque pocas empresas tienen gente que reconoce esto como anormal y busca las razones y las correcciones necesarias para evitar lo mismo en los demás equipos o una repetición en otros dos años. Además de este alto costo de reparaciones, el tiempo de producción perdido por esta reparación representa más dinero perdido que el costo de la reparación. Con suerte, algunas utilizan empresas externas que tienen expertos a mano para evaluar los problemas y buscar las soluciones correctas.*

*Este es el Boletín #107 de nuestro programa de Boletines Informativos mensuales. Todos los boletines están disponibles en formato Acrobat pdf en [www.widman.biz](http://www.widman.biz).*

### El objetivo

Nuestro objetivo es bajar los costos operativos de las empresas que nos consultan o consuman nuestros productos. Por eso siempre estamos utilizando las últimas herramientas y tecnología para encontrar las fallas y proporcionar sugerencias de solución – de preferencia antes de que se presenten las fallas. La ventaja que tenemos es que la mayoría de las buenas prácticas y soluciones son transferibles a otras empresas: Una práctica llamada “*Benchmarking*”.

Así que al ver los análisis de aceites de varios motores donde había alto contenido de hollín y/o diesel crudo, combinado con motores que están reparando a las 2000 horas de trabajo, nos ponemos a buscar la causa.

### Las respuestas típicas

Estamos acostumbrados a escuchar excusas o explicaciones como: “Es normal por la altura”, “Es equipo de industria “X”, que esperas?”, “Es el diesel de mala calidad. Hay que aceptarlo”, “mi presupuesto sólo alcanza para invertir en ello”, etc.

No se puede aceptar estas reparaciones como *normal*. Ninguna empresa puede existir si tiene que poner el costo de reparaciones de equipos en cada 2000 horas de trabajo. Deberíamos considerar 24.000 horas como meta. Personalmente no creo en el mito que todo lo que se produce en ciertos países es malo. Hay bueno y malo en cada país. Si solamente buscas precio, también puedes comprar pésima calidad en los países que supuestamente son productores de alta calidad. Antes de culpar la marca o su procedencia, tenemos que ver nuestras operaciones y fallas.

Cuando buscamos soluciones, tenemos que reconocer que podemos obtener cualquier calidad o producto que queremos. No debemos descartar algo por ser de otro país. Hoy en día hay pocos países donde se prohíbe la importación de materiales y productos.

### El problema

En el caso que exploramos aquí, podríamos acusar a la calidad de inyectores, pero hay problemas en diferentes marcas. *¿Cuál es el ítem común?* El diesel. Tenemos que empezar con el problema de la calidad del diesel, pero no en términos técnicos, si no por el manipuleo del diesel. Los estudios que hicimos en los últimos 6 meses indican que el mayor problema que tenemos es la suciedad. Los motores de esta década requieren un diesel más limpio que el agua que tomamos del grifo. En términos técnicos, Bosch nos dice que tenemos que tener un combustible que cumple con un nivel de limpieza ISO 9/6/3, o sea un diesel donde no podemos encontrar más que 500 partículas sobre 4 micrones en 100 ml de diesel. 4 µm es un décimo de lo que podemos ver con nuestros ojos. Quiere decir que si juntamos toda la suciedad permitida en 100 ml de diesel en un sólo lugar y la aplanamos, podemos esconderla en el punto al final de esta frase. Si tenemos más contaminación que eso, tendremos problemas.

Lo interesante es que el diesel que sale de la refinería, sale limpio. La destilación del combustible resulta en producto tan puro y limpio como la destilación del Singani o Whiskey. Lo malo es que nadie lo cuida. Desde el momento que se carga a las cisternas que fueron descargados sin filtrar el aire que reemplazó la última carga al llenar el tanque del surtidor por mangueras sucias, lo contaminamos. Después manejamos de forma muy rústica al pasarlo por los tanques, turriles y cisternas pequeñas antes de colocarlo en los equipos que se va a utilizar.

Adicionalmente a ello, es contaminado por el transporte por caminos normales en nuestros países que son de tierra y polvo, con los respiraderos abiertos sin filtro, barras de metal oxidado o palos para medir el nivel, tanques sin la debida protección para almacenar, y varias otras maneras de ensuciar el diesel.

### Los filtros

Me dicen que no importa lo que hacemos porque cada motor tiene su filtro o filtros. Me dicen que los surtidores tienen filtros. Hasta un cierto punto todo esto es correcto. *¿Pero funcionan?*

- **¿Cuándo fué** la última vez que revisó las válvulas de mantenimiento del filtro del surtidor? Yo encuentro la mayoría en posición de desvío (by-pass) porque su mantenimiento es muy difícil y costoso.

- **¿Cuál es la eficiencia** del filtro del surtidor? Analizamos varias muestras la semana pasada por un microscopio y no queda duda de la pobre calidad de filtración ofrecida. Las fotos están en nuestro sitio Web.
- Ayer encontramos un vendedor de filtros para surtidores que orgullosamente anunció que sus filtros podían retener 90% de las partículas sobre 10  $\mu\text{m}$ . Se sorprendió al encontrar que Donaldson® tiene uno que retiene 99.95% de las partículas sobre 4  $\mu\text{m}$  y más del 99% sobre 1  $\mu\text{m}$ .
- **¿Qué clase de filtro** tiene el surtidor en su respiradero? Normalmente encuentro sombreros chinos o bastones para evitar la lluvia. Mientras bombea combustible a nuestros equipos, camiones o autos, absorbe toda la tierra del ambiente. Al dispensar 30.000 litros de combustible en el día, ingresa 30.000 litros de aire sucio.
- **¿Qué clase de medidor** tiene el surtidor para su tanque subterráneo? Si mide con un palo o una barra de metal, cada vez que mide el nivel, se lava el palo/barra en el combustible.
- **¿Cuál filtro tienen en su camión o equipo?** *¿De calidad original o su equivalente técnico?* De hecho, en el problema que inició este trabajo, encontramos que los filtros que usaron, aunque eran de una marca famosa, solamente filtran 50% de las partículas sobre 10  $\mu\text{m}$  en un caso y 50% de 7  $\mu\text{m}$  en el otro (de acuerdo a la página Web de esa marca). Si cada litro de diesel que consumimos actualmente contiene más de 30 millones de partículas sobre 4  $\mu\text{m}$ , *¿cuántas pasan por un filtro que solamente retiene 50% de los del doble de su tamaño?*

Al nivel de contaminación que encontramos en la mayoría de los tanques aquí, cada 200 litros que dispensamos a nuestro equipo tiene cerca de 6 mil millones de partículas sobre 4  $\mu\text{m}$  en suspensión (sin contar con la contaminación por el respiradero). Al consumir esto, empujamos la mayoría de estas partículas por una holgura de inyectores de 1  $\mu\text{m}$  con más de 2000 bares de presión. *¿Cuánto podemos esperar que aguanten?* Al lijar los inyectores, comienza la combustión pobre y formación de hollín en el aceite y escape. Si no paramos en ese momento para cambiar los inyectores, el diesel empieza a gotear al cilindro y pasar al aceite, reduciendo la viscosidad y la protección como podemos ver en los ejemplos más adelante.

- **¿Qué tipo de respiradero tiene el tanque de diesel de su equipo?** La mayoría de los equipos y camiones solamente tienen tubos o válvulas que permiten el aire libre a entrar para reemplazar el diesel consumido o enfriado. Al consumir nuestros 200 litros de diesel, entra 200 litros de aire sucio a contaminar el tanque y todo el diesel que queda. Además que en el aire y dependiendo del día o lugar ingresa también una cantidad de agua (vapor de agua o moléculas de agua), que incentivan el desarrollo de microorganismos (bacterias) que a la postre serán los cuerpos gelatinosos que se asientan hacia el fondo del tanque.

### La realidad

Ninguno de nosotros es responsable por toda la cadena de transporte y consumo desde la refinería hasta el equipo. Cada persona o empresa toma control después de una contaminación por otra. El truco es reducir o eliminar la contaminación que recibimos. Igual que la comida cruda que compramos, tenemos que cuidar, lavar y protegerlo de los elementos que nos enfermarían, tenemos que limpiar y cuidar el combustible.



Las prácticas que observamos en el campo no son buenas. Por ejemplo en Bolivia por los controles que hay en el manejo del combustible a veces es casi prohibitivo comprar de una vez el equivalente a una cisterna o tanque. También hay gente que lo hace por desconocimiento del peligro o por comodidad. Aquí podemos ver el llenado de un con una manguera sucia directamente de un turril o tambor.

Cada vez que pasa por la manguera y por el aire libre, se contamina más. Muchos utilizan mangueras llenas de polvo para hacer estas transferencias.

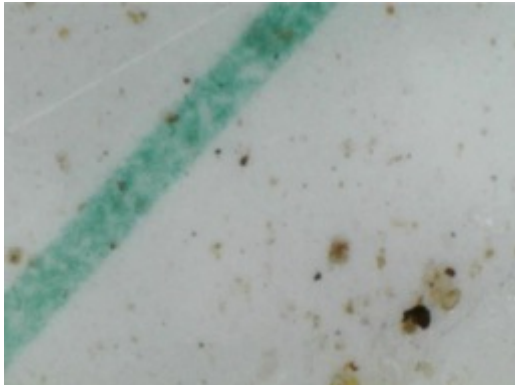
### ¿Cuán grave es el problema?

El diesel típico que vemos aquí, aunque parece transparente/amarillento, parece como la primera foto (izquierda) cuando lo miramos en el microscopio. Las líneas verdes tienen entre 80 y 100  $\mu\text{m}$  de ancho. Lo que necesitamos es diesel tan limpio como la muestra a la derecha que salió de la bomba de un Ingenio Azucarero (CIASA) en Santa Cruz después de pasar por el filtro Donaldson®.

Cada una de esas partículas gastará los inyectores. Estas muestras son del diesel que se carga al equipo o camión directamente del tanque/surtidor.

### La Causa

Diesel común de la cisterna o surtidor



Diesel limpio Filtrado por Donaldson®



### El efecto

En los siguientes cuadros podemos ver varios ejemplos del problema real en las máquinas donde entró diesel "sucio". En las primeras dos muestras (equipos A y B) podemos ver el problema de hollín. Estos son inyectores que ya están gastados, inyectando una mezcla muy rica que no puede ser quemada con eficiencia. El hollín es carbón. Lija las superficies por donde circula. Ambas máquinas tienen alto contenido de hollín y desgaste por dos periodos de análisis. Vale notar que el escape de estas máquinas, rica en hollín, es altamente dañino a la salud de los trabajadores.

En estos cuadros o recortes de reportes de análisis de aceite del motor podemos ver desgaste de materiales y la condición del aceite. Las columnas de la izquierda son de este periodo y los de la derecha son del cambio de aceite anterior.

La explicación en detalle de cómo leer los reportes de análisis está en nuestro sitio Web, pero aquí en el primer bloque miramos alto desgaste de Hierro (principalmente de los cilindros y eje de levas), Cromo (anillos), Plomo y Cobre de cojinetes y bujes. En este periodo podríamos considerar "normal" unos 20 ppm de hierro y 1 o 2 ppm de los otros metales.

En el segundo bloque podemos ver la condición del aceite – viscosidad y contaminación por combustible o hollín.

Este aceite, por ser uno de los mejores, no espesó con el alto hollín (lo normal en esta zona del país sería menos que 1.2%) y logró a mantener su viscosidad 15W-40, pero ningún aceite que lleva mucho hollín puede evitar el desgaste.

También podemos apreciar una alta contaminación de tierra (silicio) en el equipo A, probablemente causado por un filtro de aire dañado. Eso nunca debería pasar de 10 ppm.

Equipo A

<b>Metales (ppm)</b>		
Hierro (Fe)	85	106
Crómo (Cr)	6	11
Plomo (Pb)	8	5
Cobre (Cu)	8	5
Estaño (Sn)	2	4
Aluminio (Al)	7	10
Niquel (Ni)	1	2
Plata (Ag)	<1	<1
Titanio (Ti)	<1	1
Vanadio (V)	<1	<1
<b>Pruebas Físicas</b>		
Viscosidad (cSt 100C)	14.6	14.8
% Combustible	<1	<1
Hollín (%)	3.7	3.3
SAE Rating Determination	40	40
<b>Contaminantes (ppm)</b>		
Silicio	21	36
Sodio (Na)	7	8
Potasio (K)	9	7
Agua (%)	<0.05	<0.05
Refrigerante	No	No

#### Equipo B

<b>Metales (ppm)</b>		
Hierro (Fe)	94	132
Crómo (Cr)	7	10
Plomo (Pb)	5	4
Cobre (Cu)	4	3
Estaño (Sn)	3	3
Aluminio (Al)	4	4
Niquel (Ni)	2	2
Plata (Ag)	<1	<1
Titanio (Ti)	<1	<1
Vanadio (V)	<1	<1
<b>Pruebas Físicas</b>		
Viscosidad (cSt 100C)	15.0	18.1
% Combustible	<1	<1
Hollín (%)	2.8	3.8
SAE Rating Determination	40	50
<b>Contaminantes (ppm)</b>		
Silicio	7	8
Sodio (Na)	6	6
Potasio (K)	6	<5
Agua (%)	<0.05	<0.05
Refrigerante	No	No

Las próximas dos muestras vienen de equipos donde los inyectores se gastaron tanto (o se trancaron) que ya pasa diesel crudo al aceite, adelgazándolo. En ambos casos tanto diesel entró al aceite que la viscosidad cayó de 15W-40 a xW-30. El desgaste de plomo y cobre viene de los cojinetes, bujes y pasadores.

El nivel de combustible crudo en el equipo C era 7% en la primera muestra y 3% en la segunda.

#### Equipo C

<b>Metales (ppm)</b>		
Hierro (Fe)	70	49
Crómo (Cr)	3	2
Plomo (Pb)	3	4
Cobre (Cu)	25	26
Estaño (Sn)	7	2
Aluminio (Al)	10	4
Niquel (Ni)	<1	<1
Plata (Ag)	<1	<1
Titanio (Ti)	<1	<1
Vanadio (V)	<1	<1
<b>Pruebas Físicas</b>		
Viscosidad (cSt 100C)	11.3	8.4
% Combustible	3	7
Hollín (%)	1.2	2.7
SAE Rating Determination	30	20
<b>Contaminantes (ppm)</b>		
Silicio	13	8
Sodio (Na)	7	4
Potasio (K)	8	5
Agua (%)	<0.05	<0.05
Refrigerante	No	No

#### Equipo D

<b>Metales (ppm)</b>		
Hierro (Fe)	98	57
Crómo (Cr)	9	5
Plomo (Pb)	18	8
Cobre (Cu)	36	8
Estaño (Sn)	4	2
Aluminio (Al)	8	5
Niquel (Ni)	1	1
Plata (Ag)	<1	<1
Titanio (Ti)	<1	<1
Vanadio (V)	<1	<1
<b>Pruebas Físicas</b>		
Viscosidad (cSt 100C)	9.7	12.9
% Combustible	5	<1
Hollín (%)	2.5	2.7
SAE Rating Determination	30	40
<b>Contaminantes (ppm)</b>		
Silicio	16	14
Sodio (Na)	7	6
Potasio (K)	6	<5
Agua (%)	<0.05	<0.05
Refrigerante	No	No

Asumimos que los filtros finales en las máquinas (típicamente primario y secundario) sacarán toda la mugre que llega. Lo que no tomamos en cuenta es:

- o La eficiencia de un filtro nunca será igual con flujo variado que un flujo constante. Una buena filtración tiene que tener un flujo constante. El mejor momento es filtrar al descargar la cisterna.
- o El medio filtrante de un filtro normal es quemado por las chispas electrostáticas, causando huecos hasta 20 µm por donde pasa tierra.
- o La humedad en el diesel permite el crecimiento de bacteria en el diesel. El gel (comúnmente llamado gelatina) que forma la bacteria taponan los filtros, causando su colapso y el paso de la suciedad al motor. Esta humedad entra por el surtidor y el respiradero del mismo tanque del equipo.

#### El problema específico que investigamos

Los fabricantes de los equipos y camiones normalmente diseñan sus sistemas de filtración para poder recibir diesel a un nivel de limpieza ISO 14/13/11 donde se limita las partículas a un máximo de 16.000 sobre 4 µm en 100 ml de diesel (vea [esta página](#) de nuestro sitio para más detalles). Asuman que diesel de esa limpieza puede ser pulido por los dos filtros del equipo y pueden cuidar a los inyectores.

Así que (después del separador de agua) en muchos equipos, CAT y Komatsu usan un filtro como el 1R-0711 de CAT®, 600-311-8290 de Komatsu®, o P557440 de Donaldson® donde tienen un alta eficiencia a 2 y 3  $\mu\text{m}$ , llegando a más de 99% de partículas retenidas de 9  $\mu\text{m}$  y mayores.



En el caso que investigamos, El filtro correcto de Cummins 4897833, que sería el P550881 de Donaldson® (que tiene una eficiencia de 99% de partículas mayores a 4  $\mu\text{m}$ ). Encontramos que el "equivalente" en la marca famosa que habían comprado tiene una eficiencia nominal (50%) de 7  $\mu\text{m}$ . Ese filtro puede ser "equivalente" en rosca y empaquetadura, pero 50% de 7  $\mu\text{m}$  no es equivalente al 99% de las partículas mayores a 4  $\mu\text{m}$ . La respiración o ventilación de los tanques de estos equipos es un hueco en la tapa.

### Resumen

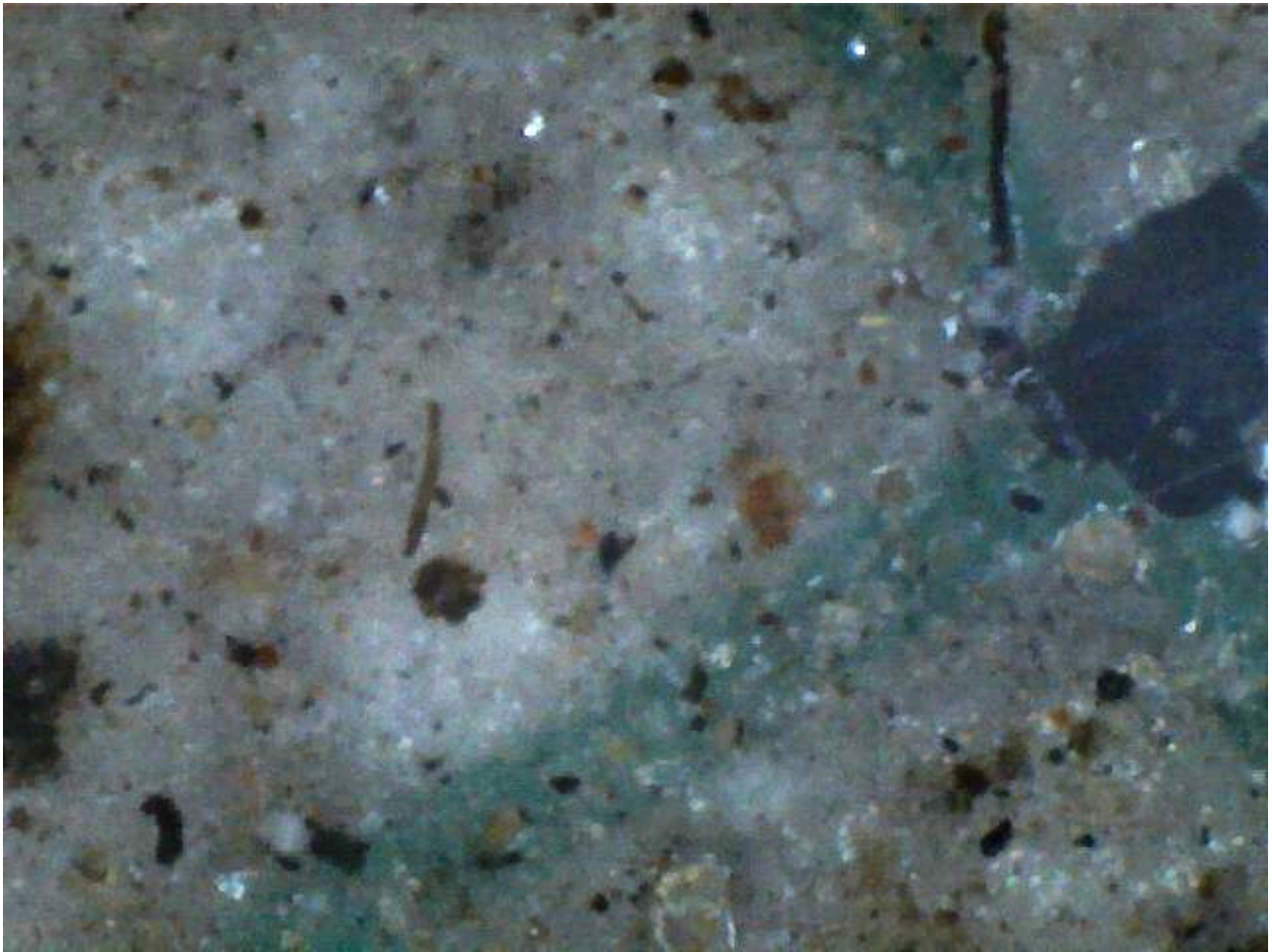
Lo que sabemos es que fallaron varios motores y vimos que tenían alto contenido de hollín lijando los cilindros y mucho diesel diluyendo el aceite.

- En el primer problema encontrado fue inyectores gastados.
- Los inyectores fueron dañados por diesel sucio.
- Los filtros de diesel en los equipos no cumplían con las normas de los fabricantes de los equipos (50% >7  $\mu\text{m}$  contra un requerimiento de 99% >4  $\mu\text{m}$ ).
- El diesel puede haber sido contaminado por polvo del área de trabajo ingresando por el respiradero.
- El diesel no pasa por ninguna filtración desde la refinería. No fue filtrado cuando fue pasado de tanque a tanque en la distribuidora de diesel, ni cuando pasó a la cisterna o al tanque fijo del campamento y tampoco al cargarlo en la cisterna de reparto o al cargar en los equipos.

Es muy probable que ese diesel entró al filtro del equipo como estas muestras que tenemos de otro camión con problemas en la ciudad de La Paz. Es muy difícil eliminar todo esto en un filtro pequeño en el equipo, especialmente un filtro que no cumple con los requerimientos del fabricante. Si relacionamos el tamaño de estas partículas con las líneas verdes de 80 a 100  $\mu\text{m}$  de ancho, es obvio que hay millones de partículas entre 5 y 10  $\mu\text{m}$  para ser forzadas a 2000 bares por los inyectores.

En la foto siguiente muestra cómo estaba el diesel de un camión parado con problemas en los inyectores y que no había recorrido ni 30 mil km. Por otro lado sólo como anécdota éste camión era parte de un convoy de seguridad y traslado de valores, y en su trabajo diario tuvo que detenerse en la vía con los peligros que eso conllevan.





### **Recomendaciones**

Para garantizar el funcionamiento de nuestros equipos a diesel, tenemos que purificarlo y cuidarlo en cuanto podemos. Cada día que continúa con humedad, forma geles de bacteria y causa corrosión de los tanques de almacenamiento o transporte. Las partículas de corrosión y herrumbre contaminan más al combustible.

No podemos jugar con sistemas de filtración caseras o de muy baja eficiencia, que según nuestra experiencia sólo garantizan que van a poner más personal a trabajar por lo laborioso que es su mantenimiento, u otros sistemas que extraen algo de agua sin preocuparse de la suciedad. Sin embargo ese no es todo el problema. Hay otros sistemas donde el dueño debe estar presente en su funcionamiento ya que hemos visto que hay operarios propensos a “robar” combustible por sus conexiones o desagües (Filtro Separador de Agua, con Dreno). **Necesitamos soluciones garantizadas.** La reparación de un motor con sus inyectores fácilmente puede pasar de \$US 25.000. Un sistema garantizado de purificación puede salir entre \$1000 y \$12.000 de acuerdo al volumen requerido y tiempo que uno busca entre cambios de elementos. Si alguien no puede garantizar diesel limpio a la norma ISO, es por algo.

Tenemos que poner filtros en todos los respiraderos, desde el tanque de almacenamiento y las cisternas de entrega, hasta los equipos mismos. Cada litro que se bombea o consume absorbe un litro de suciedad del aire si no tenemos un filtro en el respiradero.

Tenemos que usar filtros de alta calidad. El supuesto ahorro de \$1 en la compra de un filtro puede costar miles de dólares en reparaciones y horas de trabajo perdidas. No es casualidad que las mejores marcas de equipos buscan a Donaldson® para fabricar sus filtros. La tecnología, garantía y normas rígidas valen tanto como el medio filtrante. Un cruce de filtros por rosca, o en este caso por una marca que no respetó la norma de la fábrica cuando hizo su base de datos de cruces, puede ser muy costoso.

**Revise su manipuleo de combustible.** *¿Dónde puede entrar tierra, aunque sea invisible?* Busque soluciones. Estamos disponibles para una auditoria y recomendaciones.

### **Conclusión**

Para mantener nuestros equipos operacionales con un alto porcentaje de disponibilidad y productividad debemos hacer todo lo posible para evitar daños y desgaste. El plan de cuidado y mantenimiento proactivo separa las empresas exitosas de los comunes.

Si queremos que nuestros inyectores y equipos duren mucho más, superando las 25.000 horas de trabajo, deberíamos considerar filtrar apropiadamente nuestro combustible y protegerlo de la contaminación del medio ambiente, además de cuidar nuestros tanques. De esta manera tendremos un diesel puro y seguro en nuestros tan extensivamente caros inyectores. Si están reparando el sistema de inyección antes de 25.000 horas, hay que investigar el motivo, como primera prioridad.



Si realmente quieren cuidar sus equipos, deben filtrar el diesel **y los aceites** al colocarlos en sus máquinas y camiones. Este camión de abasto (Foto) en un proyecto de movimiento de tierra vuelve a filtrar el diesel al llenar el equipo y todos los aceites al aumentar o cambiarlos. Cuando no filtran, las partículas finas que vienen en los tambores o entran en ellos al dispensar el aceite causan daños a los sistemas hidráulicos, cojinetes, engranajes y todo lo demás de los equipos.

**Y al escoger sus filtros, no se olviden que “equivalente” no siempre quiere decir “igual”.**

*Widman International SRL contribuye a la capacitación de los ingenieros y usuarios en Bolivia para mejorar su competitividad. Para mayores informaciones prácticas, visite nuestra página Web: [www.widman.biz](http://www.widman.biz)*

*La información de este boletín técnico es de única y completa propiedad de Widman International S.R.L. Su reproducción solo será permitida a través de una solicitud a [info@widman.biz](mailto:info@widman.biz) no permitiendo que esta altere sus características ni su totalidad.*